CONTRACT RAPPORT NO. 1SQ 82-00199

CONTRACTOR: Electromic Div.
Maritime Inc.

RECHERCHE THEORIQUE SUR LE PRINCIPE ET L'APPLICATION DES COURANTS DE FOUCAULT

NUMERO DE CONTRAT : 26 SQ - 23440 - 2 - 9154

~~Tecrad inc.~~ — sub-contractor
775 avenue St-Jean Baptiste suite 105
Ancienne-Lorette, Québec
G2E 5G5

110 pp large book.
+ 24 pp - sml book

TABLE DES MATIERES

	PAGE
CHAPITRE 1 : Historique	2
CHAPITRE 2 : Description de l'instrumentation	3
CHAPITRE 3 : Les sondes - pont d'impédance - transformateur différentiel - effet Hall	8
CHAPITRE 4 : Utilite de la rotation vectorielle	13
CHAPITRE 5 : Les filtres	16
CHAPITRE 6 : Temps de réponse du TC 1200	19
CHAPITRE 7 : Balayage en fréquence	21
CHAPITRE 8 : Multifréquence	34
CHAPITRE 9 : Detection des fissures	40
ANNEXE 1 : Programme d'optimisation des sondes	50
ANNEXE 2 : Tableaux des dimensions des fissures artificielles	62

BUT DU PROJET:

Le présent projet de recherche vise à utiliser le TC 1200 tant pour résoudre des problèmes de laboratoires que des problèmes industriels. Les résultats expérimentaux devront permettre l'amélioration du prototype de sorte à pouvoir le commercialiser.

CHAPITRE 1

HISTORIQUE

Les courants de Foucault sont largement utilisés dans l'industrie comme méthode de contrôle de la qualité. Ils ont comme particularité d'être non-destructifs. . Cependant cette méthode ne jouit pas d'une très bonne réputation comme cela peut l'être pour le contrôle non-destructif par ultrasons. Cette impopularité est causée, en grande partie, par une instabilité des mesures,une complexité d'ajustement de l'intrumentation, une difficulté de compréhension du phénomène, etc..

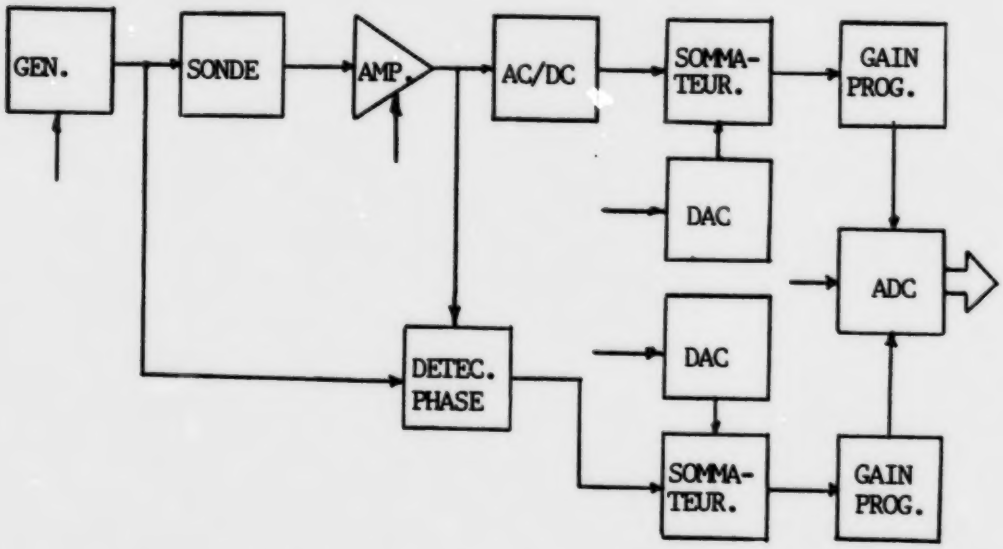
Dans le but de simplifier l'utilisation des courants de Foucault, un premier prototype d'appareil fût mis au point. Son nom est le TC 1200 et a comme particularité essentielle, par rapport aux instruments conventionnels, d'effectuer un balayage des fréquences d'utilisation de façon automatique. Cette technique n'apporte rien de nouveau par rapport à la théorie des courants de Foucault. Cependant, elle permet de trouver d'une façon sûre et rapide le paramètre le plus important de toutes mesures par courants de Foucault c'est à dire : la fréquence.

CHAPITRE 2

DESCRIPTION DE L'INSTRUMENTATION

Le TC 1200 est un premier prototype d'un nouveau genre d'appareil à courants de Foucault. Toutes ses fonctions sont commandées à partir d'un microprocesseur Z 80-A. Les ajustements sont faits via un clavier type QWERTY, et les résultats sont affichés sur écran cathodique (plutôt qu'un oscilloscope). En voici un schéma synoptique simplifié:

Figure 2A



Il est constitué d'un générateur sinusoidal à synthèse numérique. Ce générateur couvre une plage en fréquence de 4 KHz à 1.5 MHz.

La sonde qui est externe au système peut être changée dépendamment de l'application.

Le préamplificateur sert à amplifier le faible signal qui revient de la "sonde". Son gain peut varier de 48 dB. L'extraction des paramètres se fait à partir d'un convertisseur AC DC et d'un détecteur de phase. De cette façon on obtient l'amplitude et la phase comme composantes initiales du signal courants de Foucault.

Figure 2B

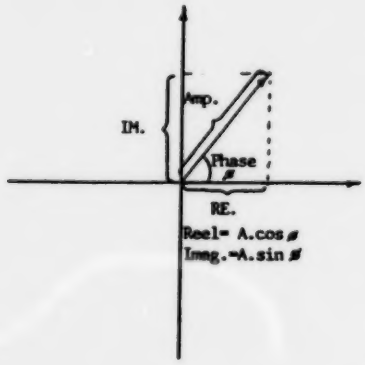


Figure: La partie réelle correspond au produit de l'amplitude et du cosinus de l'angle de la phase. Cette phase est comprise entre l'angle électrique du générateur et celui du vecteur résultant. La partie imaginaire correspond au produit de l'amplitude et du sinus de la phase.

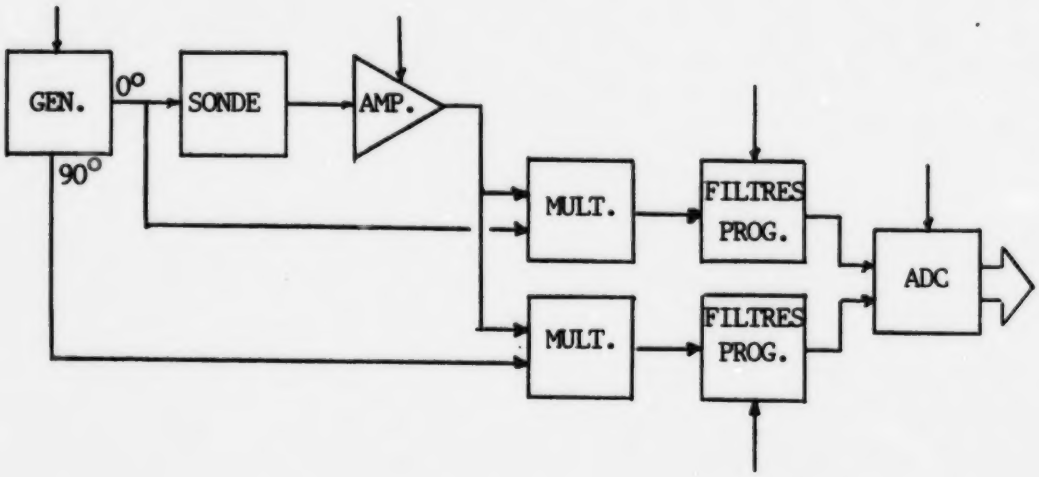
Vient par la suite un ensemble rétroactif constitué de deux convertisseurs numérique à analogue et de deux sommateurs. Cet ensemble permet de faire un premier équilibrage du signal, ce qui permet d'amplifier à nouveau le signal à l'aide d'amplificateur à gain programmable (0 à 48 dB).

Les signaux sont alors multiplexés pour être acheminés vers un convertisseur analogique à numérique ayant une résolution de 12 bits.

Cette méthode d'extraction des paramètres cause cependant un problème. Lorsque l'amplitude du signal de retour de la sonde est aussi faible que le bruit de l'ensemble sonde-instrument, on obtient des variations de phase très importantes (de l'ordre de + ou - 180 degré). Cela cause donc une perte importante de l'information d'où une impossibilité de calculer les composantes réelles et imaginaires.

Pour corriger ce problème, un nouveau prototype fût mis au point. En voici le schéma synoptique simplifié.

Figure 2C



Le nouveau circuit, contrairement au premier, extrait directement les composantes réelles et imaginaires du signal.

Le générateur est d'un type à quadrature de phase. Il peut générer un sinus et un cosinus sur une plage de fréquences qui s'étend de 5 Hz à 2 MHz.

Le préamplificateur est du même type que celui du montage précédent. Son gain varie de 0 à 51 dB.

Vient par la suite deux multiplicateurs analogiques qui servent de détecteurs synchrones. C'est à ce niveau que se situe l'amélioration la plus importante.

On retrouve à l'entrée des multiplicateurs dans un cas, le signal du générateur et celui du signal provenant de la sonde, et dans l'autre cas, le signal de quadrature (90 degré de déphasage avec le signal du générateur) qui est associé à celui de la sonde. Ce qui donne à la sortie les signaux suivants:

$A \sin wt \cdot B \sin (wt + \phi)$ pour le premier multiplicateur

et

$A \cos wt \cdot B \sin (wt + \phi)$ pour l'autre multiplicateur

où $A \sin wt$ est le signal du générateur
$B \sin (wt+\phi)$ est le signal provenant de la sonde
$A \cos wt$ est le signal du quadrature

Si nous développons ces équations nous obtenons:

$$A \sin wt \cdot B \sin (wt+\phi) = \frac{AB}{2} \sin (2wt+\phi) + \frac{AB}{2} \sin (\phi)$$

$$A \cos wt \cdot B \sin (wt+\phi) = \frac{AB}{2} \sin (2wt+\phi+\alpha) + \frac{AB}{2} \sin (\phi+\alpha)$$

$$= \frac{AB}{2} \cos (2wt+\phi) + \frac{AB}{2} \cos (\phi)$$

Ce qui donne un signal alternatif au double de la fréquence de l'entrée additionnée a une composante stationnaire.

Ces composantes stationnaires correspondent donc à la composante réelle et imaginaire du signal. Cependant il faut éliminer les composantes alternatives du signal. Cette fonction est réalisée par des filtres passe-bas ayant une fréquence de coupure inférieure à celle du signal alternatif. Nous retrouvons donc, après filtrage du signal:

$\frac{AB}{2} \cos\phi$ et $\frac{AB}{2} \sin\phi$.

A est l'amplitude du générateur. Cette tension étant stable, il est possible d'écrire:

$KB \sin \phi$ pour la composante imaginaire

et

$KB \cos \phi$ pour la composante réelle.

L'amplitude et la phase sont alors calculées à partir de ces deux variables de la façon suivante:

$$|A| = [(KB \cos \phi)^2 + (KB \sin \phi)^2]^{1/2}$$

$$\theta = tg^{-1} \frac{KB \sin \phi}{KB \cos \phi} = tg^{-1} \frac{Im}{Réelle}$$

Cette méthode a pour avantage d'être très peu bruyante car ce type de détection agit comme un filtre passe-bande dans le domaine spectral. Ainsi, toutes fréquences différentes à celles du générateur sont rejetées.

Suite aux détecteurs Réel et Imaginaire viennent deux séries de filtres, deux passe-haut et deux passe-bas. Leurs fonctions seront définies plus loin dans le chapitre 5 .

Les données sont alors acheminées vers le convertisseur analogique à numérique 12 bits pour être traitées par le micro ordinateur.

Si on tient compte de la plage dynamique du convertisseur A→D qui est de 72.2 dB et du gain de 51 dB du préamplificateur, cela signifie que la plus faible variation de tension aux bornes de la sonde qui peut être mesurée est de 10 volts / $10^{\left(\frac{123.2}{20}\right)}$ = 6.9 µV ce qui représente une sensibilité suffisante pour la plupart des tests par courants de Foucault.

CHAPITRE 3

LES SONDES

Le TC 1200 peut utiliser plusieurs types de sondes. La plus commune est celle du type pont d'impédance. En voici le schéma électrique:

Figure 3A

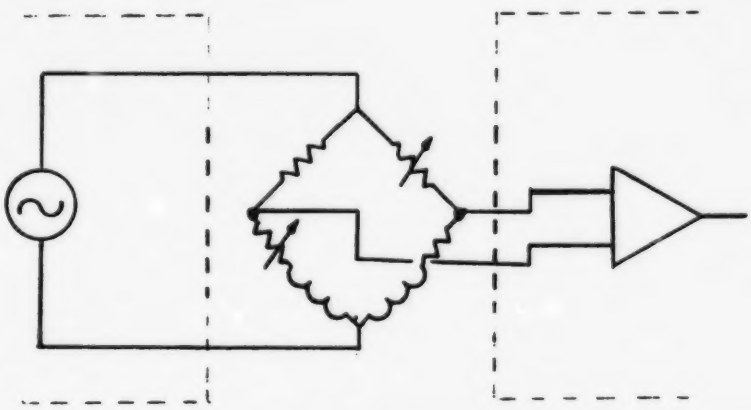


Figure: Tout ce qui est entouré de traits pointillés appartient au TC 1200.

Dans ce type de montage, la sensibilité vient du fait que la tension au point A est très près de celle au point B. Ces deux tensions sont soustraites et la différence des deux est grandement amplifiée (de 51 dB maximum dans notre cas).

Les deux potentiomètres servent à ajuster les tensions aux points A et B pour qu'elles soient les plus près possible en amplitude et en phase.

Selon la façon dont sont disposés les enroulements, on obtient soit une sonde du type absolue ou une du type différentielle.

Figure 3B Reponse typique pour une detection de fissures

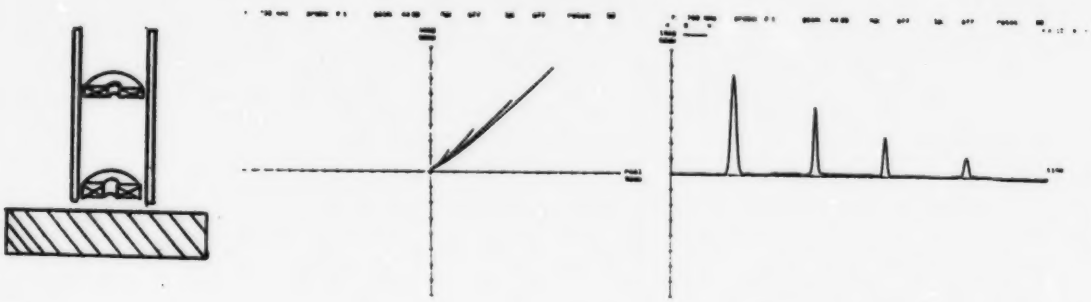


Figure 3C Reponse typique pour une detection de fissures.

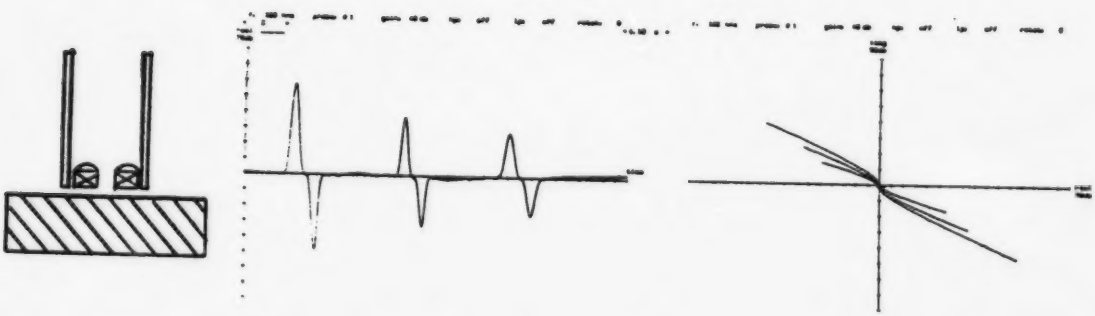
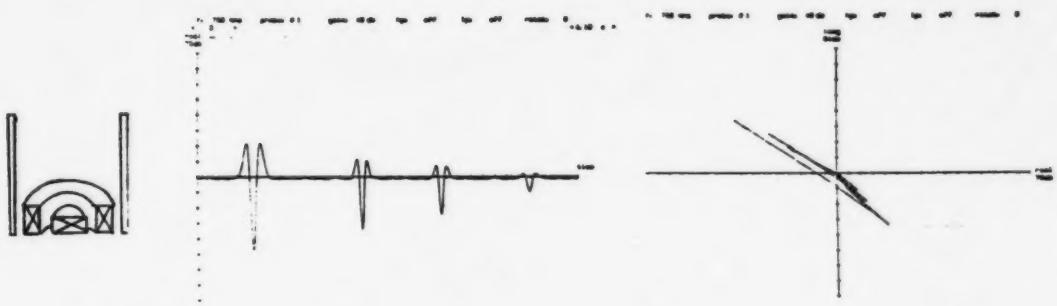


Figure 3D Reponse typique pour une detection de fissures

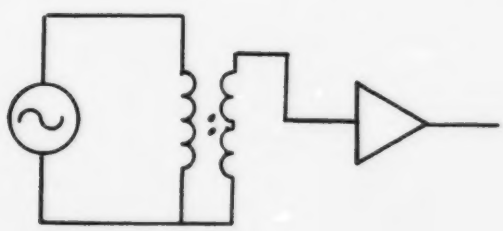


Les deux premières configurations peuvent s'appliquer aux sondes du type encerclante. Celle du type de la figure 3D ne s'applique qu'aux sondes de surface.

Les sondes du type absolu telle que décrites dans la figure 3B sont à usage multiple. Elles peuvent à la fois servir à mesurer des conductivités électriques, détecter des fissures, mesurer des épaisseurs de revêtement nonconducteur, etc,. Par contre si nous sommes seulement intéressés à une détection de fissures il est préférable de ne pas être sensible aux autres paramètres. L'on doit alors utiliser des sondes différentes telles que décrites aux figures 3C et 3D.

Un autre type de sonde largement utilisé, est celui de type tranformateur différentiel

Figure 3E, schéma électrique:



Ces sondes sont composées de trois enroulements, soit le primaire qui est rattaché au générateur et deux récepteurs connectés en opposition de phase. Ici aussi, selon la façon dont sont disposée les enroulements, on obtient différents types de sondes.

Figure 3F Reponse typique pour une detection de fissures.

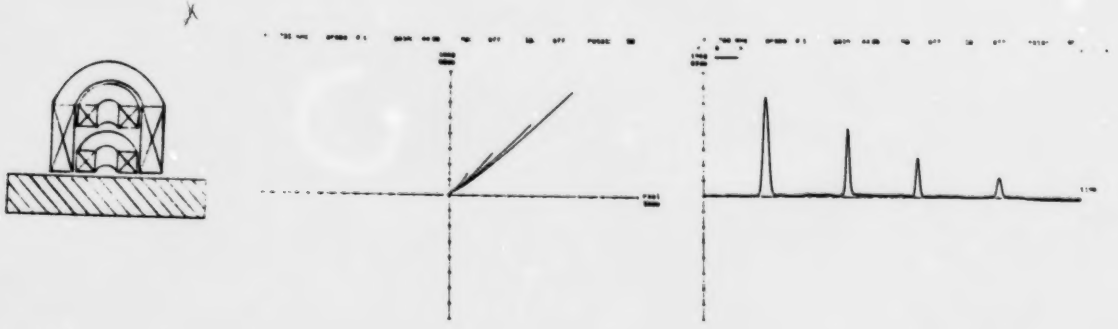
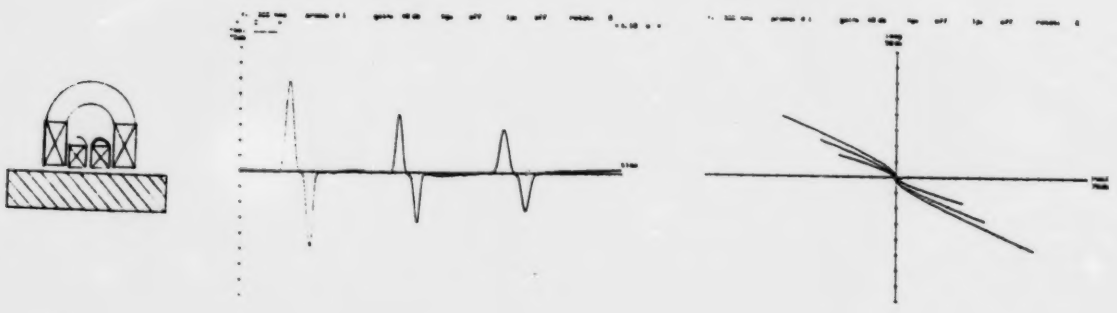


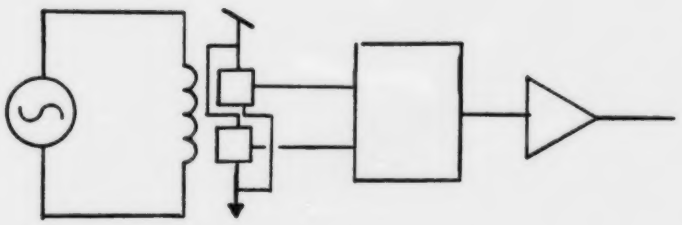
Figure 3G Reponse typique pour une detection de fissures.



Ce type de sonde est plus complexe à réaliser que celui en pont d'impédance. Il a par contre de très gros avantages sur l'autre type, soit une plus grande largeur de bande, une plus grande sensibilité aux défauts sous la surface et il est moins affecté par la variation d'entrefer.

Un autre type de sonde a été utilisé avec le TC 1200. Ce sont les sondes avec capteurs à effet Hall.

Figure 3H



La théorie de ce type de sonde est la même que celle des transformateurs différentiels.

Plusieurs prototypes de sondes utilisant ce type de capteurs ont été réalisés. Comme cela a été prévu, leur comportement est le même que celui des sondes à tranformateur différentiel. Pour fonctionner ils ont besoin d'un gain assez élevé et demande un circuit de conditionnement. Après plusieurs séries de mesures tant pour le cas de sondes du type absolu que différentiel, les performances de ces sondes sont assez pauvres. Les capteurs à effet Hall que nous avons utilisés (3 types provenant de deux fabricants) génèrent un bruit important de 0 Hz à 40 KHz ce qui rend impossible les mesures exigeant une grande sensibilité.

Des capteurs de champ magnétique à effet magnétorésistifs ont aussi été utilisés. Dans ce cas ci le gros problème est causé par un hystérésis au niveau des capteurs ce qui les rend eux aussi très peu utilisables.

CHAPITRE 4

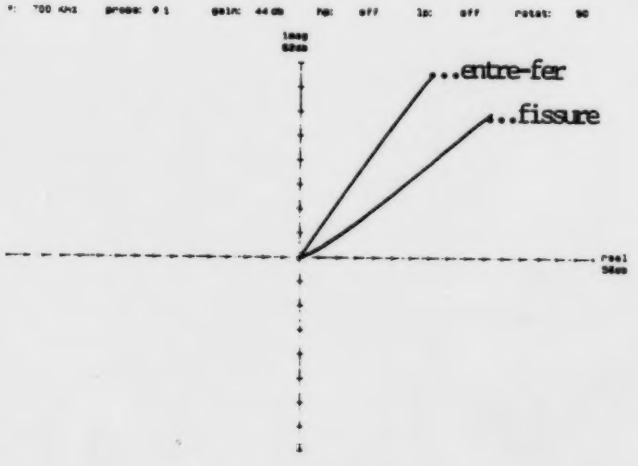
UTILITE DE LA ROTATION VECTORIELLE

Comme nous le verrons dans le chapitre se rapportant au multifréquence, afin de traiter "n" paramètres nous aurons besoin de "n-1" fréquences. Ainsi, si "n = 2 " une seule fréquence sera nécessaire pour les traiter séparément. Cela est dû au fait que chacun des paramètres prend une direction particulière dans le plan d'impédance. Ceci peut être le cas pour le signal de la variation d'entrefer et le signal d'une fissure.

Afin d'avoir une bonne différenciation entre deux paramètres, la fréquence d'excitation de la sonde doit être telle que l'angle entre les deux signaux soit de 90 degrés. De plus cette fréquence doit être située dans la zone de grande sensibilité de la sonde. La meilleure séquence à suivre serait de fixer la fréquence du test; cette fréquence étant imposée par les lois électromagnétiques. Il suffit ensuite de choisir une sonde dont la plage de sensibilité en fonction de la fréquence correspond à la fréquence du test.

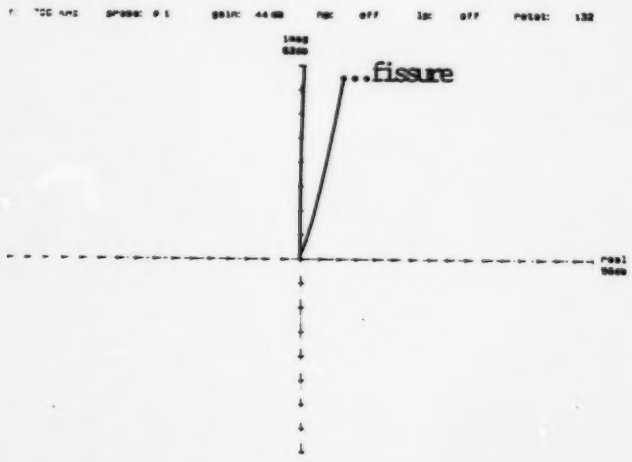
Voici un exemple typique de l'utilisation de la rotation:

Figure 4A



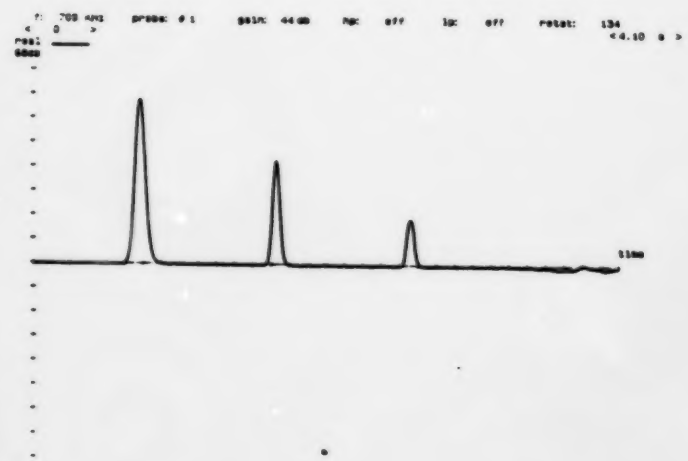
La première étape consiste à identifier les paramètres. Pour la figure 4A, il s'agit d'un signal de fissure et du signal de l'entrefer sonde-échantillon.

Figure 4B



Dans la deuxième étape on fait tourner les vecteurs de l'angle désiré afin de placer le signal d'entrefer sur un des axes. Voir figure 4B.

Figure 4C



La figure 4C est la projection sur l'axe réel des trois (3) fissures, cependant la mesure d'entrefer n'y apparaît pas.

Figure 4D

Dans la figure 4D les trois (3) fissures sont affichées ainsi que le signal de la mesure d'entrefer. Il est alors impossible de savoir si l'on est en présence de quatre (4) fissures ou encore de trois (3) fissures et d'un (1) signal d'entrefer.

La rotation étant une fonction mathématique simple, nous avons implanté dans le TC 1200, un logiciel permettant de calculer automatiquement l'angle nécessaire afin de rejeter le paramètre indésirable. Cela permet à l'usager de pouvoir rapidement rejeter la variation d'entrefer sans pour autant être en plan d'impédance.

CHAPITRE 5

LES FILTRES

Utilisation des filtres passe-haut et passe-bas

Le TC 1200 possède quatre filtres programmables. Soit deux passe-haut dont les fréquences de coupures varient entre 2 Hz et 300 Hz par incrément de 1 Hz, et deux passe-bas dont les fréquences de coupures sont ajustables entre 999 Hz à 30 Hz eux aussi ajustable par incrément de 1 Hz. Tout comme cela est la cas pour la rotation vectorielle, ces filtres servent à éliminer des composantes indésirables du signal. L'utilisation des filtres passe-haut servent à éliminer les variations lentes, et les filtres passe-bas à éliminer les variations rapides.

Les filtres passe-haut sont très utilisés lorsque nous travaillons avec des matériaux ferro-magnétiques. Dans le cas de détection de fissures, il y a trois (3) paramètres qui influencent le test. Il y a la variation d'entrefer, la variation de perméabilité magnétique et les fissures elles mêmes. Il est possible de rejeter la variation d'entrefer en plaçant cette variation sur un des axes et en examinant la projection sur l'autre axe (figure 5A). Cependant, il reste toujours deux paramètres dont un est à éliminer. En examinant la figure 5B nous pouvons observer qu'il y a une variation lente associée à la perméabilité magnétique et une rapide associée à la fissure.

Figure 5A

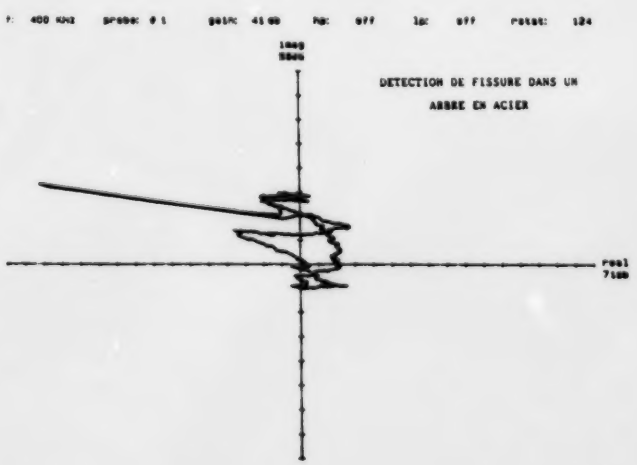
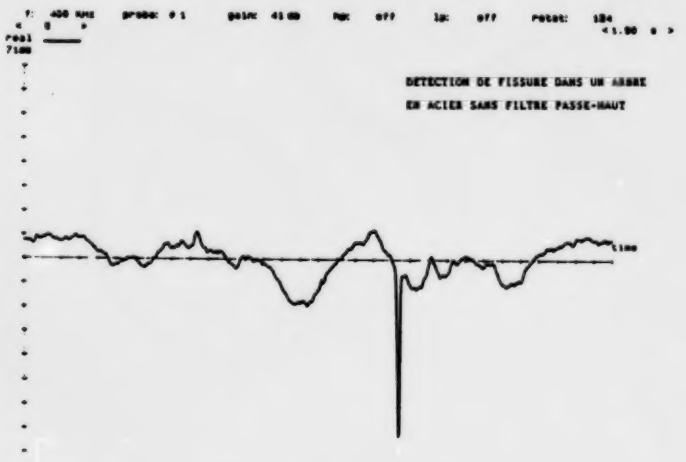
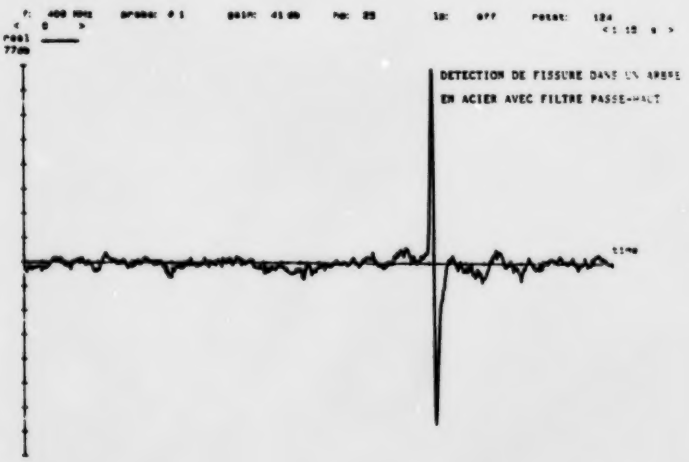


Figure 5B



Si nous ajustons correctement la fréquence de coupure du filtré passe-haut, il est possible de rejeter les variations lentes causées par la perméabilité magnétique. Il ne reste alors que des variations rapides du signal. Ces variations rapides correspondent à des signaux de fissures, il est alors plus facile d'interpréter les résultats apparaissant à la figure 5C. Cela permet également de fixer un niveau d'alarme pour un éventuel rejet automatique des pièces contrôlées.

Figure 5C



Il faut toutefois être prudent lorsque nous utilisons de tels filtres car ils sont sensibles à la vitesse à laquelle le test est fait. Une même profondeur de fissure peut donner des différences d'amplitude si elle est détectée à des vitesses différentes. Cela entraîne une erreur sur l'évaluation de la profondeur des fissures. Il est alors important de savoir à quelle vitesse est fait le test et quelle est sa stabilité.

Les filtres passe-haut servent, en général, à filtrer le bruit provenant de la chaîne à courants de Foucault elle-même et ce, lorsque son gain est trop élevé. Il est ainsi possible d'augmenter le rapport signal sur bruit de la chaîne courants de Foucault. Par contre nous limitons la bande passante de l'instrument, ce qui implique, pour les tests, une vitesse de défilement qui est plus basse.

Pour résumer sur l'utilité des filtres, nous pouvons dire qu'ils permettent, dans cetain cas, de travailler avec trois (3) paramètres à la fois et ce, à une seule fréquence.

CHAPITRE 6

TEMPS DE REPONSE DU TC 1200

Lorsque l'on parle de systèmes à courants de Foucault, deux types de réponse en fréquence sont en cause. Le premier type, celui qui est le mieux connu, est la fréquence d'excitation. Dans le cas du TC 1200, cette fréquence varie de 5 Hz à 2 MHz. Ce qui est intéressant dans cette gamme de fréquence, c'est la variation vectorielle de la phase et de l'amplitude. Si, par exemple, la sonde est immobile sur une pièce, cette variation se transforme en deux signaux constants et ce, peu importe la fréquence d'excitation. Par contre, si la sonde se déplace, il y aura un taux de variation de la phase et de l'amplitude du signal d'excitation en fonction du déplacement de la sonde et des variations métallurgiques.

Il est possible de comparer ces deux fréquences à celles associées aux ondes radios. Par analogie, la fréquence d'excitation des courants de Foucault est la porteuse et le taux de variation de l'amplitude et de la phase, l'enveloppe du signal.

Pour extraire l'enveloppe du signal courants de Foucault, la technique consiste à utiliser des filtres passe-bas (voir chapitre portant sur la détection des parties réelles et imaginaires).La fréquence de coupure de ces filtres doit être en accord avec la plage dynamique du convertisseur analogique à numérique. Le convertisseur du TC 1200 a une résolution de 12 bits. La plage de tension à son entrée est de 5 volts. La plus petite variation lue par ce convertisseur est donc de $\frac{10\ Volts}{(2^{12}-1)} = 2.4\ mV$

Les filtres devront alors avoir à leur sortie une ondulation inférieure à 2.4 mV dans le pire des cas. La plage dynamique du convertisseur est de 72 dB, ce qui implique que la composante alternative de la porteuse doit être atténué d'au moins 72 dB.

Le TC 1200 utilise des filtres du 3ième ordre. La fréquence de coupure des filtres passe-bas doit être au moins cinq fois plus basse que la fréquence d'excitation. Par exemple, si le test par courants de Foucault fait une fréquence de 10 KHz, la fréquence de coupure du filtre doit être de 2 KHz, ce qui limite le temps de réponse du système.

Ce que l'on doit aussi considérer, c'est la réponse du système à un échelon de tension. La réponse à un échelon est du type

$$(t) = K - K (1 + W_c t) e^{-W_c t}$$

Pour être en accord avec la résolution du convertisseur, la tension à la sortie du filtre, pour un échelon de tension maximum, doit être de 99.975 % la valeur du convertisseur. Cela implique que l'on doit attendre un temps de 11τ avant de prendre une acquisition. Si la tension de l'échelon est de la moitié, ce temps est réduit à 5.5 et ainsi de suite. Ce facteur dépend de la fréquence de coupure du filtre et de son amortissement.

Et pour finir, un dernier facteur limitant la vitesse de défilement est la résolution spatiale demandée. Si, par exemple, lors du test d'un tube l'on veut une mesure à tous les 0.01 mm, la vitesse de déplacement sera plus réduite que si l'on veut une mesure à tous les 0.1 mm. En pratique, la vitesse d'acquisition maximale actuelle permise par le TC 1200 est de 10,000 acq/sec (lorsque la fréquence d'opération est supérieure à 60 KHz). Ce taux d'acquisition multiplié par la résolution donne la vitesse de défilement. Par exemple, 10,000 acq/sec X 0.1 mm = 1 m/s ce qui permet de déplacer la sonde à une vitesse de 1 mètre / seconde.

Conclusion

Comme cela fût exposé dans les paragraphes précédents, le temps de réponse des systèmes à courants de Foucault est fonction de plusieurs facteurs. L'influence de la plupart de ces facteurs devient négligeable lorsque la fréquence d'opération est supérieure à 60 KHz. Il ne reste dans ce cas qu'à considérer la limite maximale du temps de réponse du système.

Cependant lorsque les fréquences deviennent inférieures à 1 KHz, il faut prendre soin de bien connaître le temps de réponse du système et d'ajuster la vitesse de déplacement de la sonde en conséquence.

CHAPITRE 7

BALAYAGE EN FREQUENCE

INTRODUCTION:

Pour tout test utilisant les courants de Foucault, le paramètre le plus important est l'ajustement de la fréquence. Cet ajustement dans le meilleur des cas se base sur les propriétés théoriques des courants de Foucault. Cependant, en général, cette fréquence est soit fixée soit au hasard, ou bien elle l'est en fonction de l'expérience de l'utilisateur. Il en résulte que, bien souvent, cette fréquence n'est pas adaptée aux mesures. Pour résoudre ce problème, le TC 1200 effectue des balayages en fréquence.

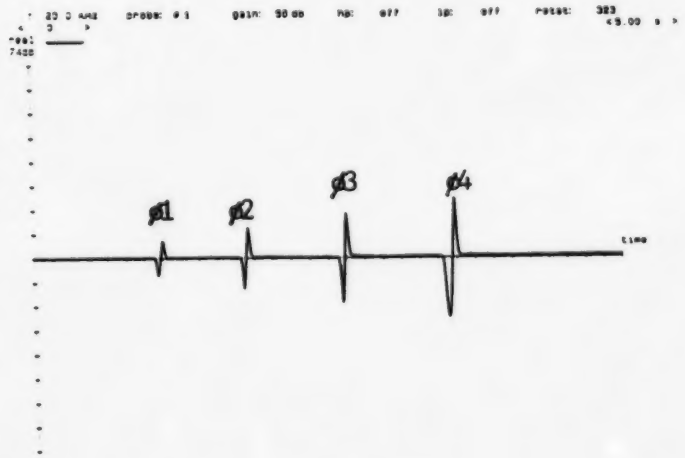
Mode de fonctionnement

Le balayage en fréquence consiste à mesurer le comportement des divers paramètres à étudier en fonction de la fréquence. Le choix des limites en fréquence est en général fonction de la plage d'opération de la sonde. Les limites admises par l'instrument permettent de couvrir des fréquences variant entre 5 Hz et 2 MHz.

Le changement de fréquences se fait par incrément. Par exemple, entre 280 Hz et 5 KHz il y aura des mesures prises à 510 fréquences. Pour obtenir une courbe, il y a deux séquences de balayage en fréquence. Le résultat alors affiché consiste en la différence vectorielle qui nous intéresse entre les paramètres métallurgiques.

Si, par exemple, nous sommes intéressés par une détection de fissures, la procédure à suivre est la suivante: Au départ, nous devons avoir deux (2) échantillons. Le premier doit être sain et constituera notre référence. Le second contient la fissure à détecter. Une fois les limites de fréquences ajustées, le premier balayage en fréquence est fait avec la sonde sur l'échantillon sain. L'instrument prend une mesure de l'impédance à chacune des fréquences et il la place en mémoire. Cette séquence terminée, nous posons la sonde sur la fissure et démarrons à nouveau le balayage en fréquence. Cette fois-ci à chacune des fréquences, le système calcule la différence d'impédance et l'affiche sur l'écran. Il est alors possible d'afficher le module de l'impédance, sa phase, sa composante réelle et imaginaire. Comme cela sera démontré dans les exemples qui suivent, il est facile, à partir de ces résultats, de savoir qu'elle est la fréquence optimale pour la mesure.

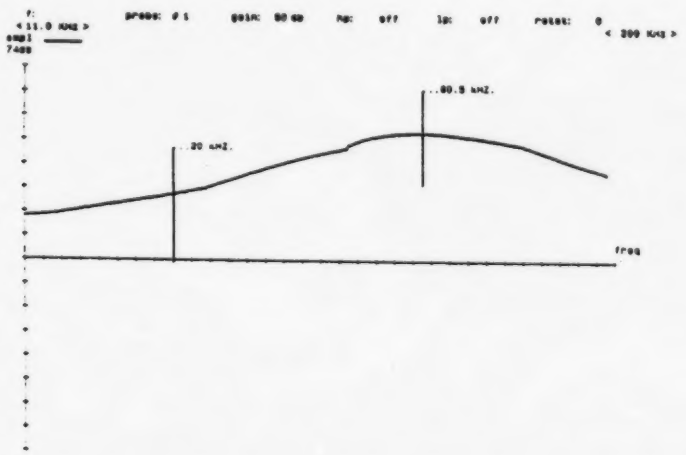
Figure 7A



La figure 7A illustre des résultats obtenus sans optimisation de la fréquence. Le test consiste à détecter des fissures dans un tube à l'aide d'une sonde différentielle. Le tube étalon ayant servi à ce test contient quatre trous de différent diamètre correspondant respectivement à ϕ1, ϕ2, ϕ3 et ϕ4 sur la figure 7A.

La fréquence de test est de 20.0 KHz et une rotation de 323 degrés est appliquée aux résultats de sorte à placer les lobes, causés par les trous, directement sur l'axe des réels. Alors en affichant la variable réelle en mode temps, cela permet d'avoir la plus grande sensibilité à ce paramètre tout en ayant une notion de la position des trous dans le tube.

Figure 7B



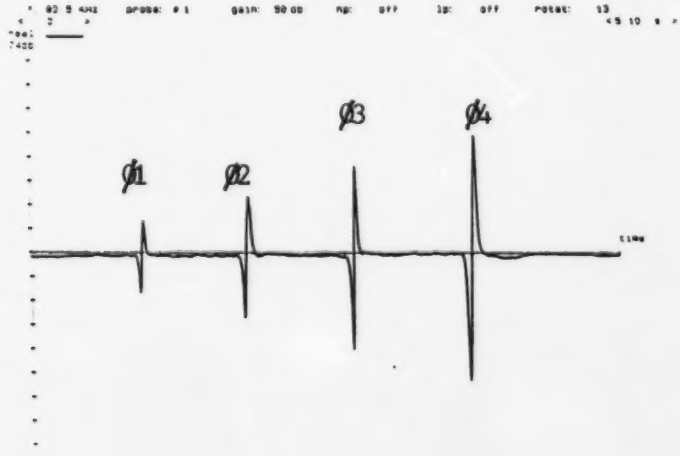
La figure 7B est un premier exemple de l'utilisation du balayage en fréquence. Les fréquences explorées se situent entre 11 KHz et 200 KHz. Cette gamme de fréquence permet de couvrir toute la plage d'opération de la sonde. Le balayage en fréquence se fait de façon discrète et pour cet exemple,environ 500 fréquences différentes sont couvertes.

Dans le cas de la figure 7B, le premier balayage en fréquence est fait lorsque la sonde est en un endroit sain du tube. Il y a donc mise en mémoire de l'impédance de la sonde à chacune des fréquences. Le deuxième balayage en fréquence est fait lorsque la sonde est dans une zone trouée. A chacune des fréquences, la différence d'impédance est calculée et est affichée. La figure 7B contient seulement la variation des modules de l'impédance. Il est cependant possible d'afficher la variation en phase ainsi que la partie réelle et imaginaire de l'impédance.

Le résultat de la figure 7B consiste en la variation de sensibilité de la sonde aux trous en fonction de la fréquence.

En examinant la courbe obtenue, nous nous rendons compte qu'elle passe par un maximum à 80.5 KHz alors qu'à 20 KHz l'amplitude du module est deux fois plus faible qu'à 80.5 KHz. Pour ce test nous avons donc intérêt à travailler à 80.5 KHz plutôt qu'à 20 KHz. Nous avons donc refait la mesure à 80.5 KHz et avons appliqué une rotation de 13 degrés aux résultats, de sorte à placer directement sur l'axe des réels les lobes causés par les zones trouées. Les résultats apparaissent à la figure 7C. Comme cela a été prédit par le balayage en fréquence, à 80.5 KHz la sensibilité de la sonde aux défauts est deux fois supérieure à ce qu'elle est à 20 KHz.

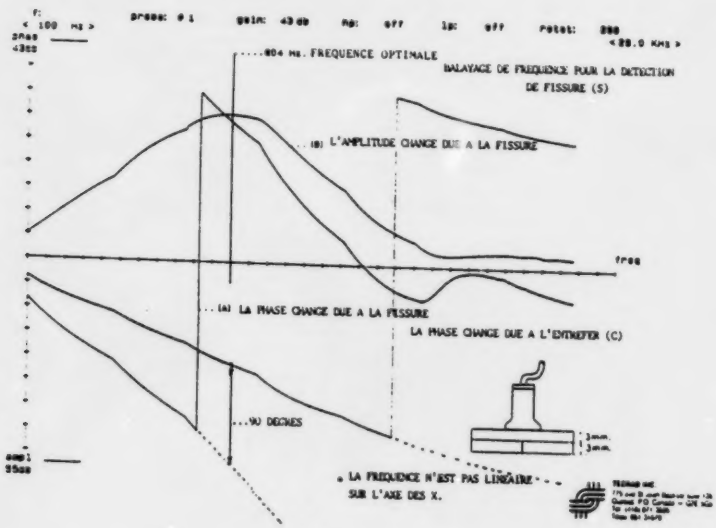
Figure 7C



Dans ce cas-ci, les balayages en fréquence ainsi que la mesure des fréquences demandent un temps inférieur à 3 minutes. De plus, nous n'avons traité qu'un seul paramètre. Donc nous pouvons nous limiter au module de l'impédance en fonction de la fréquence pour trouver la fréquence optimale pour le test.

Le prochain exemple contient deux variables, le balayage en fréquence devra alors contenir au moins deux variables. Le test consiste à détecter une fissure sous une couche de 3mm d'aluminium. L'échantillon à tester étant constitué de deux tôles de 3mm. Pour que la mesure soit optimale, la fréquence d'opération doit être telle qu'il y ait un déphasage de 90 degrés entre le signal de fissure et celui de la variation d'entrefer. De plus, la sensibilité de la sonde au paramètre à tester doit être optimale à cette même fréquence.

Figure 7D

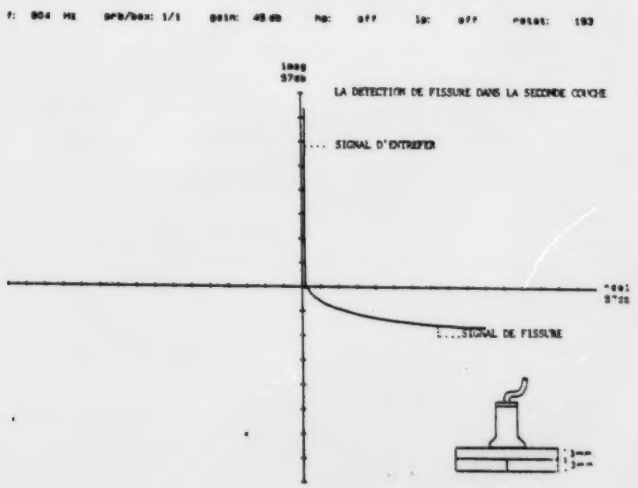


Dans le cas de la figure 7D la première séquence de balayage en fréquence est faite lorsque la sonde n'est pas au-dessus de l'endroit fissuré. La deuxième séquence est faite avec la sonde au-dessus de la zone fissurée. La différence vectorielle entre ces deux séquences est représentée ici par une variation de la phase (courbe A) et une variation d'amplitude (courbe B) en fonction de la fréquence. Le saut brusque de la courbe associé à la phase est causé par le passage de -179.9 degré à 179.9 degré. La courbe de la variation en amplitude passe par un maximum entre 780 Hz et 825 Hz. Comme cela fût le cas pour l'exemple précédent, cela signifie que c'est entre ces deux limites de fréquence que la sonde est la plus sensible pour détecter des fissures sous une première couche de 3mm d'aluminium.

Par la suite, un troisième balayage en fréquence est fait. Cette fois la sonde est en un endroit sain mais avec un entrefer entre la sonde et la surface de la pièce à tester. La différence de phase pour la variation d'entrefer (courbe C) est alors affichée. Il est alors possible de mesurer à quelle fréquence l'écart de phase entre le signal de fissure et celui de l'entrefer sera de 90 degré. Cette fréquence est de 804 Hz exactement.

Nous retrouvons donc des conditions de tests optimales à 804 Hz car cette fréquence se situe dans la zone où la sensibilité de la sonde aux fissures sous la surface est la plus grande. L'exécution de ces fonctions demande environ 5 minutes.

Figure 7E

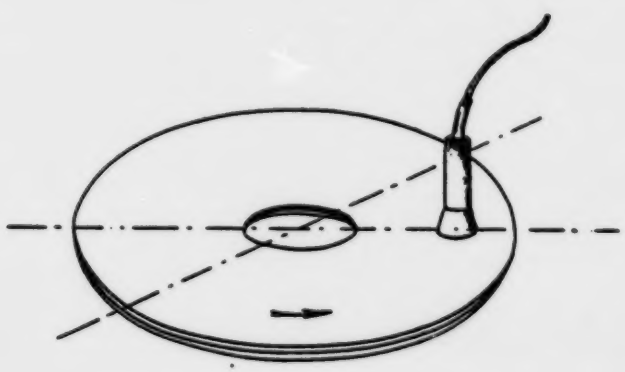


Une fois que la fréquence est bien déterminée, nous pouvons procéder de façon traditionnelle en utilisant le plan d'impédance comme cela est fait à la figure 7E. Une rotation de 376 degrés a été appliquée aux résultats de sorte que le signal dû à la variation d'entrefer se retrouve sur l'axe des imaginaires. Comme cela a été prédit par le balayage en fréquence, nous avons bien une différence de phase de 90 degrés entre le signal de fissure et celui de l'entrefer.

Pour le troisième exemple, nous faisons intervenir trois paramètres. Pour l'optimisation des fréquences, nous allons effectuer 4 séquences de balayage en fréquence et une fois le choix des fréquences effectué, nous allons combiner deux (2) fréquences afin d'éliminer les deux (2) paramètres indésirables. Pour la théorie multiparamétrique, voir le chapitre sur le multifréquence.

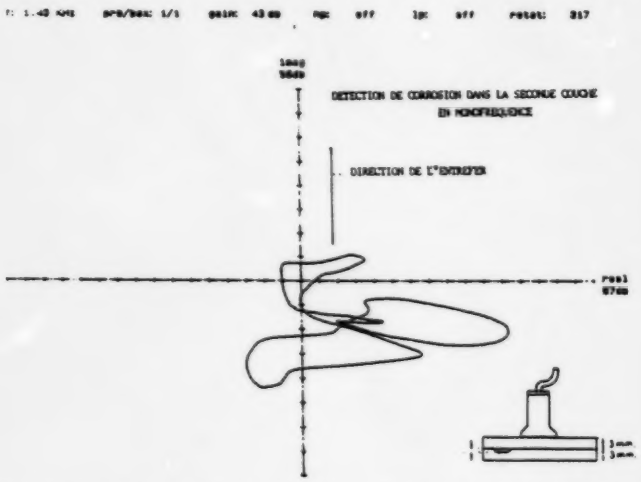
L'échantillon de test est constitué d'un assemblage de deux (2) tôles de 3mm d'aluminium (voir figure 7F). Les zones de corrosion, au nombre de quatre (4), se situent dans la deuxième couche.

Figure 7F



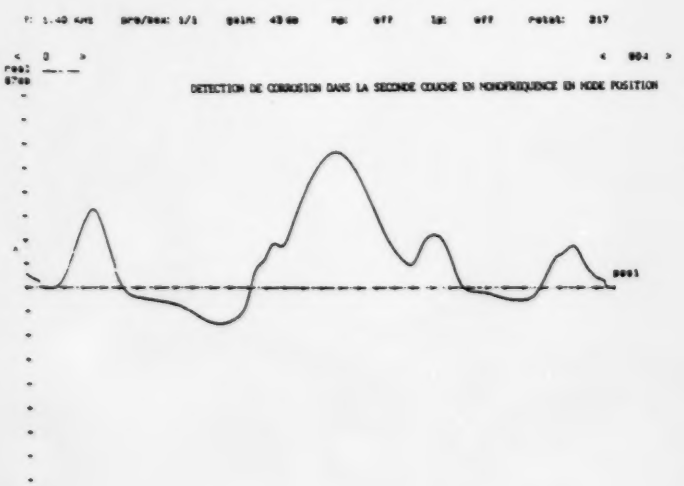
Pour ce test, les trois (3) paramètres influençant la mesure sont: la corrosion ayant une profondeur variant entre 0 et 0.5mm, l'espacement entre les couches d'aluminium variant entre 0 et 1.1mm et pour finir la variation d'entrefer entre la sonde et la surface des plaques.

Figure 7G



La figure 7G démontre les résultats obtenus lors d'un test en monofréquence. Une rotation de 217 degrés est appliquée aux résultats du test de sorte à placer le signal de la variation d'entrefer sur l'axe des imaginaires.

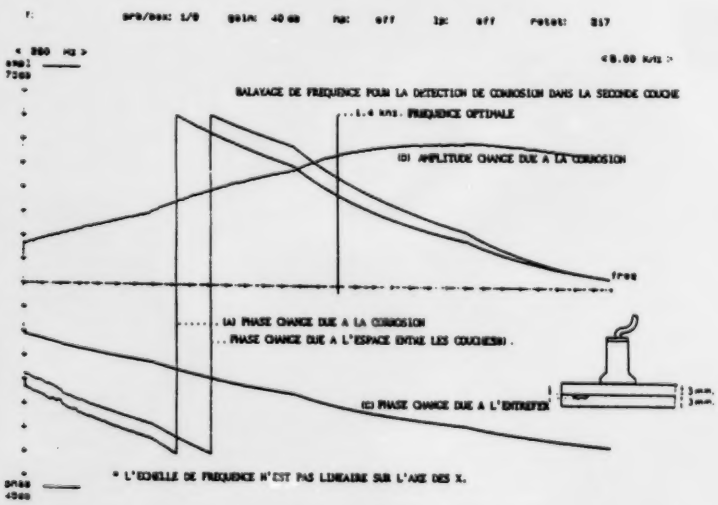
Figure 7H



La figure 7H correspond au même test que celui de la figure 7G mais sans la présence du signal causé par la variation de l'entrefer. Celle-ci a été éliminée par la rotation d'angle. Mais les résultats demeurent toujours impossibles à interpréter dû à la présence de deux paramètres.

Pour éliminer l'effet du deuxième paramètre indésirable, nous devons utiliser une deuxième fréquence. Comme cela fût le cas pour le premier exemple, le choix des fréquences d'opérations découlent du balayage en fréquence.

Figure 7J

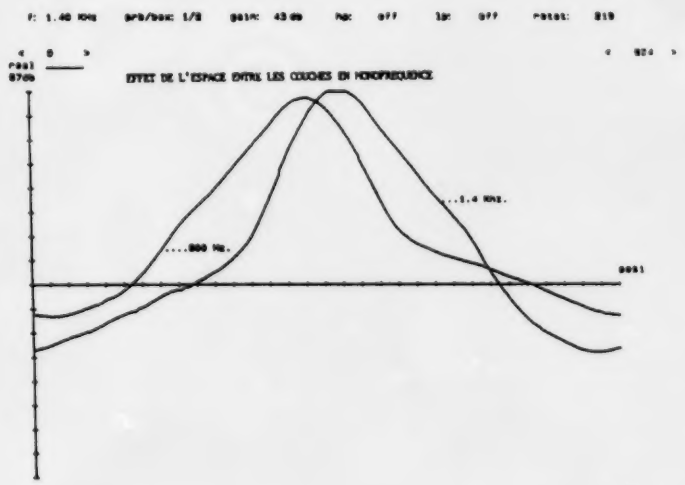


La figure 7J représente les résultats des balayages en fréquence. La courbe (A) correspond à la réponse en fréquence de la sonde en présence de corrosion. La courbe (B) est causée par l'espacement entre les plaques. La courbe (C) correspond à l'entrefer sonde-métal. Pour finir, la courbe (D) représente la variation de la sensibilité de la sonde à la corrosion en fonction de la fréquence.

Nous remarquons sur la figure 7J que la variation de phase en fonction de la fréquence pour la corrosion et pour l'espacement entre les plaques se suivent de près pour se recouper aux environs de 4.5 KHz. Pour obtenir une bonne réjection du paramètre indésirable, la différence entre la phase du signal de corrosion et celle causée par l'espacement entre les plaques doit être maximale (tout en demeurant $< \grave{a} |90°|$). Cela est tel à 1.40 KHz et comme la deuxième fréquence doit être à un octave environ de la première, 600 Hz a été choisi. La fréquence de 2.8 KHz a été rejetée car les phase sont trop près l'une de l'autre.

Les deux (2) fréquences sont générées en temps différé. Pour qu'il y ait correspondance entre les résultats aux deux fréquences, nous avons utilisé une table tournante munie d'un index et de signaux de synchronisation. Une première révolution est faite à 600 Hz et la deuxième à 1.40 KHz. Les résultats obtenus aux deux fréquences sont par la suite combinés ensemble pour rejeter le second paramètre indésirable.

Figure 7K



La figure 7K représente les résultats d'un test monofréquentiel fait sur un échantillon sans corrosion. Comme cela fût le cas dans les autres exemples, le signal causé par la variation d'entrefer est placé sur l'axe des imaginaires. Nous nous retrouvons donc avec l'influence de l'espacement entre les tôles seulement. C'est à partir de cet échantillon que furent ajustés les paramètres de la combinaison et ainsi annuler l'effet de ce paramètre.

Figure 7L

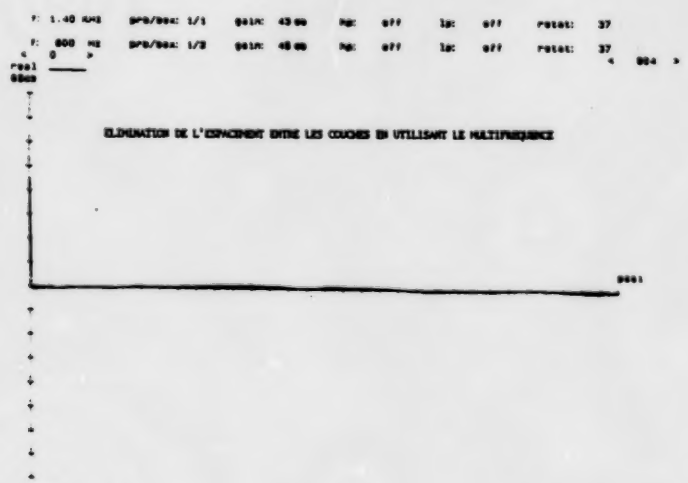
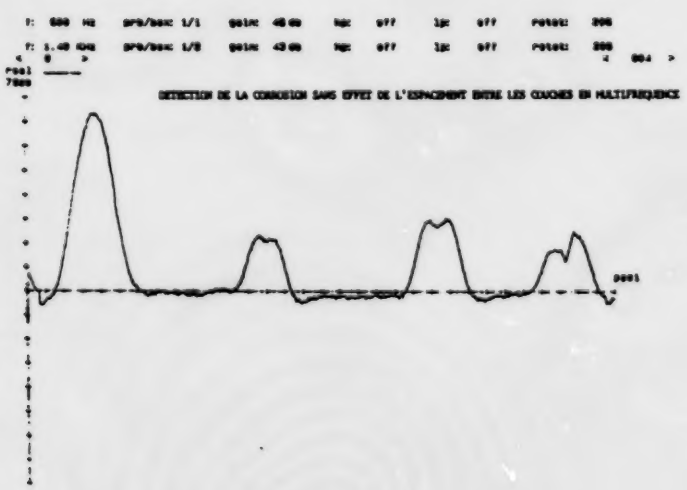
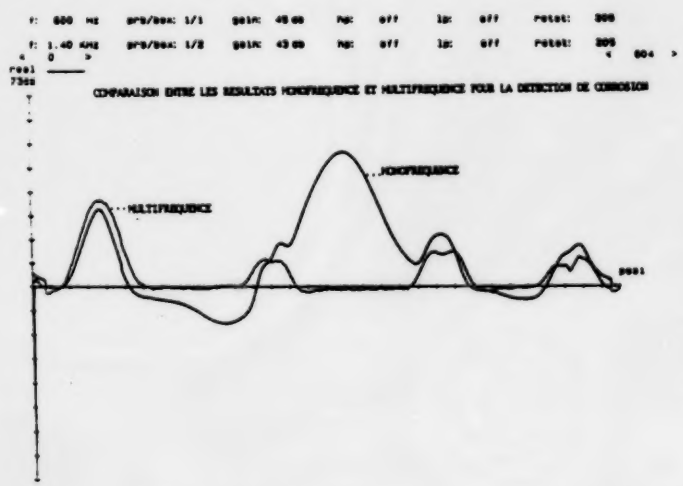


Figure 7M



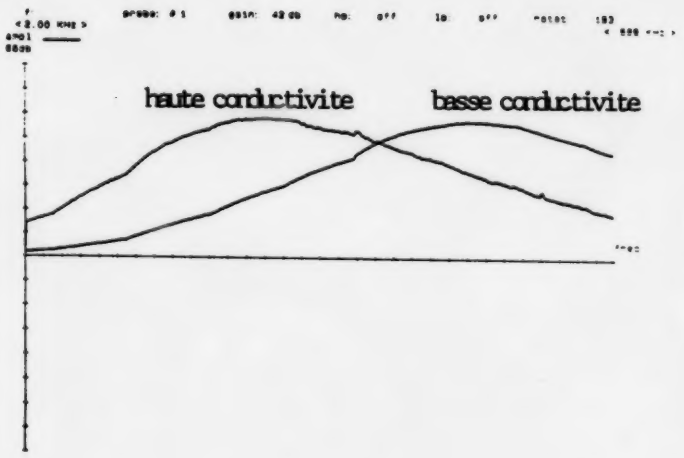
La figure 7L contient le résultat de la combinaison effectuée sur le même échantillon qu'à la figure K. Nous retrouvons donc un résidu très petit indiquant que la combinaison annule bien la variation d'espacement entre les tôles. Nous pouvons alors tester l'échantillon contenant les quatre (4) zones de corrosion. Les résultats de ce test apparaissent à la figure 7M. Maintenant les quatre (4) zones de corrosion apparaissent de façon bien distincte.

Figure 7N



La figure 7N permet de comparer les résultats du test en monofréquence à ceux du test en multifréquence. Il est alors facilement possible de se rendre compte de l'efficacité de la méthode d'élimination des paramètres.

Figure 7P



Un dernier exemple du balayage en fréquence portera sur des mesures de conductivité. Dans ce type de mesure, il n'y a pas une fréquence à laquelle il est possible de mesurer avec une grande précision toute la gamme des conductivités. A la figure 7P nous avons deux (2) courbes. Celle des hautes conductivités consiste en la différence entre un échantillon ayant une conductivité de 100% IACS et un de 30% IACS. Son maximum se retrouve aux environs de 15.5 KHz. La deuxième courbe, celle des basses conductivités, est la différence entre un échantillon de 3.3% IACS et un autre de 1.7%. Cette fois-ci la fréquence optimale est d'environ 179 KHz, soit à peu près 10 fois la fréquence de la mesure précédente.

Conclusion:

Les exemples précédents permettent de démontrer le grand intérêt du balayage en fréquence. Pour ne pas trop alourdir ce chapitre, seulement les exemples les plus pertinents ont été démontrés. Il existe plusieurs autres applications telles que l'optimisation et la métrologie des sondes à courants de Foucault. De par l'expérience acquise avec le TC 1200, nous pouvons dire que cette fonction permet d'éliminer un des voiles nuisant à la technologie des courants de Foucault.

CHAPITRE 8

MULTIFREQUENCE

INTRODUCTION

Comme cela a été dit dans le chapitre se rapportant à la rotation vectorielle, il est possible de traiter simultanément deux paramètres à une seule fréquence. De plus le fait d'utiliser la rotation vectorielle associé à un choix judicieux de la fréquence d'opération ainsi que des filtres passe-haut suffisent à régler la majorité des problèmes posés aux courants de Foucault.

Mais il se présente des cas où, malgré tout, il est impossible d'obtenir les résultats escomptés. Cela arrive lorsque le comportement des paramètres indésirables est similaire à celui de ceux que nous voulons mesurer.

Le cas le mieux connu est celui des tubes d'échangeurs thermiques. Les paramètres présents sont les défauts à détecter, la présence des plaques supports (souvent en acier), la corrosion, etc,.. Pour pouvoir faire une mesure précise, une seule fréquence s'avère insuffisante.

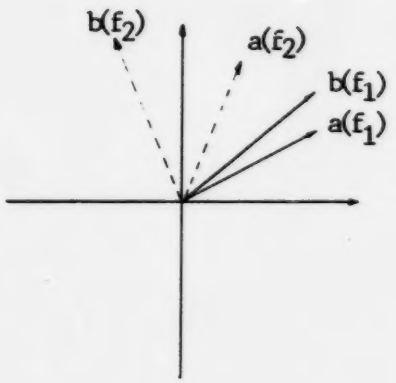
Théorie de la mesure

La théorie multiparamétrique utilisée dans le TC 1200 se base sur le principe que pour résoudre "n" paramètres on a besoin de "n" équations. Une première fréquence fournit 2 équations, la deuxième ajoute une équation et ainsi de suite.

Il est possible de résumer comme suit: pour "n" paramètres l'ont a besoin de "(n-1)" fréquences. De plus l'on ne s'intéresse pas aux paramètres indésirables ce qui implique que les équations ne sont que partiellement résolues.

L'autre aspect qui rend ces mesures possibles, est le fait que le comportement des divers paramètres se modifie en fonction de la fréquence de façon distincte. Ainsi, si l'écart d'angle entre deux paramètres est de 10 degrés à une certaine fréquence, il est possible que cet écart soit de 90 degrés à une autre fréquence. De plus le rapport de leur amplitude peut être différent. C'est ce que l'ont exploite de façon vectorielle pour en arriver à éliminer des paramètres.

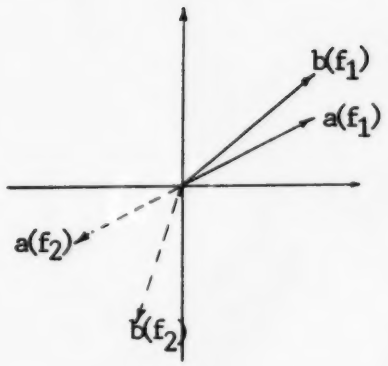
Figure 8A



La figure 8A illustre un exemple simple de la disposition vectorielle de deux paramètres pour deux fréquences. Soit les paramètres a et b à la fréquence F1 et ces mêmes paramètres à la fréquence F2.

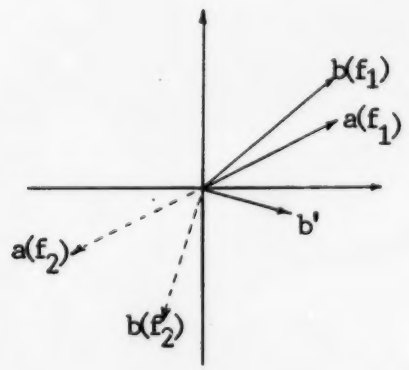
Comme cela est indiqué à la figure 8A l'angle entre les paramètres a et b n'est pas le même à la fréquence F1 qu'il l'est à la fréquence F2. Il est alors possible de résoudre vectoriellement et d'éliminer, par exemple, le paramètre a.

Figure 8B



La première étape consiste à placer les vecteurs a (F1) et a (F2) en opposition de phase. Cela se fait par une rotation des vecteurs a et b à une des fréquences.

Figure 8C



Nous devons alors ajuster l'amplitude des vecteurs a et b à l'une des fréquences de sorte à rendre le vecteur a (F1) égal au vecteur a (F2). Il ne reste plus qu'à faire une somme vectorielle des vecteurs.

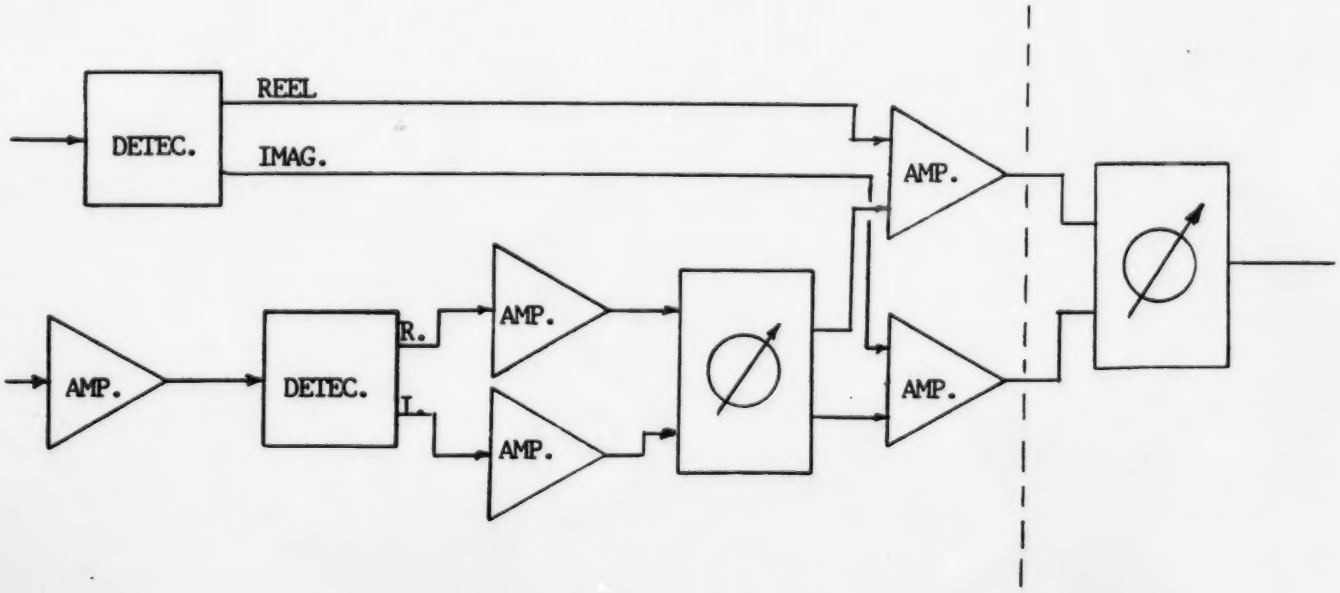
En examinant la figure 8C nous nous rendons compte que le vecteur résiduel "b" est plus petit que les vecteurs initiaux. Il est vrai que maintenant la mesure est affranchie de l'effet du paramètre "a", mais la sensibilité au paramètre "b" est plus faible.

Cette perte de sensibilité sera proportionnelle à la similitude entre les vecteurs. Cela implique que le choix des fréquences est très important (voir chapitre sur le balayage en fréquence) et de plus, l'instrument devant servir à ces mesures doit être très précis, stable et ayant une plage dynamique élevée.

L'exemple décrit dans les figures a, b et c est un cas théorique permettant de simplifier la compréhension de la méthode. En pratique, nous ne nous retrouvons pas avec des variations linéaires pour les paramètres mais plutôt avec des lobes ayant des formes parfois étranges. Il en résulte que la simple dilation du module ne suffit pas à rendre le résidu de la combinaison près de zéro. Nous devons donc ajouter des facteurs de dilatation selon la direction des axes. Nous pouvons aussi bien nous retrouver avec un facteur de 1.3 en "x", 0.7 en "y" et 2.3 pour l'ajustement final du lobe.

Il est possible de schématiser par des fonctions électroniques la méthode du calcul. La figure 8D en est un exemple.

Figure 8D



Ce circuit est composé d'amplificateurs à gain variable, de sommateurs et de circuits de rotation de phase. Toutes ces fonctions électroniques sont simples à réaliser. Pour deux (2) fréquences, trois paramètres, il y a cinq (5) ajustements différents.

Ce schéma peut s'étendre à autant de fréquences que nous voulons. Pour trois (3) fréquences, il y a 13 paramètres à ajuster. Tout cela sans oublier le fait que nous avons une perte de signal associée à chacune des combinaisons.

Un exemple pratique de cette technique apparaît au chapitre traitant du balayage en fréquences.

Il va de soi que toutes ces fonctions sont réalisées par calcul mathématique dans le TC 1200. Cela permet d'assouplir la méthode, d'avoir une linéarité parfaite des diverses fonctions et de ne générer aucun bruit.

Maintenant au niveau de l'instrument même, il est possible de générer simultanément les fréquences, ou bien de les générer l'une après l'autre.

L'injection simultanée des fréquences permet d'augmenter le temps de réponse du système. Cela permet de réaliser les tests avec une vitesse de défilement relativement élevée. Au niveau de l'instrument cela implique de doubler tout le matériel. De plus, le fait de mélanger deux (2) fréquences entraîne l'introduction d'harmoniques d'ordre supérieure dans le signal. Cela a pour effet d'augmenter le bruit de fond du système. Pour résoudre ce problème, les fabricants de tels systèmes doivent ajouter pour chacune des fréquences un filtre passe-bandes centré sur cette dernière fréquence, ce qui rend techniquement les systèmes de ce type très rigide. En général, les fabricants utilisent des tiroirs de fréquences dans lesquels sont inclus les filtres passe-bandes.

Pour l'autre approche, c'est à dire l'injection séquencée des fréquences, la principale limitation est une bande passante plus étroite, d'où une vitesse de défilement plus réduite. Au niveau technique, cette méthode exige moins de matériel. Les fréquences étant injectées une à la fois éliminent l'utilisation des filtres passe-bandes, aucune harmonique d'ordre supérieure n'étant générée.

Il est alors possible de construire un instrument à la base monofréquentiel et de l'utiliser pour des tests multifréquentiels. C'est d'ailleur cette approche qui a été conservée pour le TC 1200.

Pour résumé, nous pouvons dire que les techniques multifréquences sont très performantes mais coûtent souvent assez chères tant en ajustement qu'en perte de signal. Il est préférable d'utiliser toutes les possibilités apportées aux tests monofréquentiels avant d'utiliser les techniques multifréquentielles.

CHAPITRE 9

DETECTION DES FISSURES

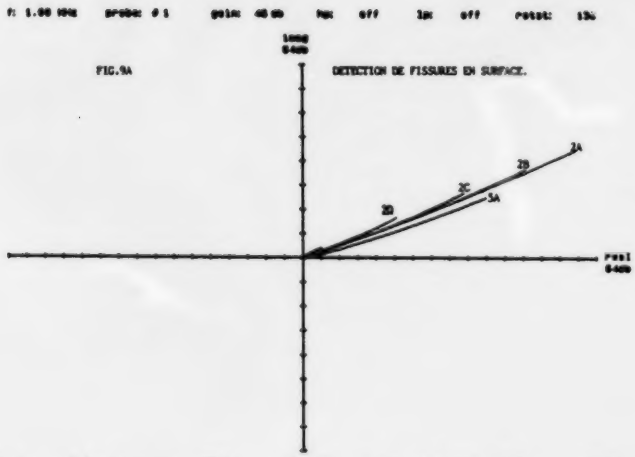
INTRODUCTION

La détection des fissures est l'une des applications la plus répandue pour les courants de Foucault. Ces défauts se présentent sous plusieurs formes. Ils peuvent être sous la surface ou débouchant, provenir de la fatigue du matériau ou apparaître lors de la fabrication du produit. De plus la manière de les détecter varie énormément d'un cas à l'autre.

Défauts artificiels

La première difficulté rencontrée lors de l'étalonnage d'un appareil à courant est de se procurer des échantillons ayant des défauts de dimension connue. La méthode la plus simple pour les obtenir consiste à les créer artificiellement. La méthode la plus répandue pour les créer est l'électroérosion (EDM). Cette méthode est simple mais produit des défauts qui ne se comportent pas de la même façon que les défauts naturels. Les défauts naturels sont généralement fermés, c'est à dire qu'ils ont une longueur et une profondeur souvent assez importante mais une largeur très faible (quelquefois inférieure à 5 microns). Les défauts par électroérosion ont pour leur part des largeurs rarement inférieures à 75 m (microns). C'est cette largeur qui fausse l'étalonnage.

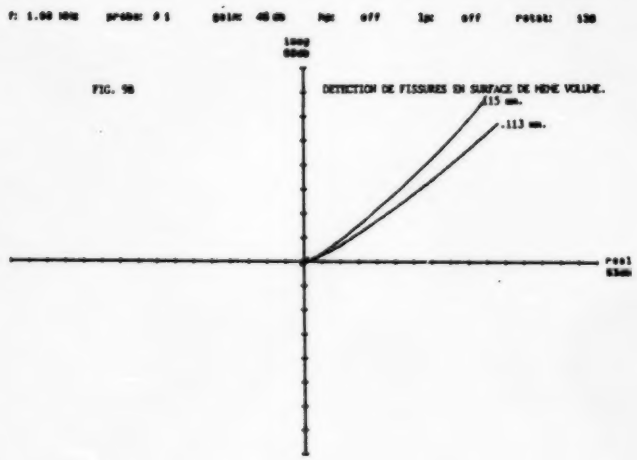
Figure 9A



Dans la figure 9A, les courbes 2D, 2C, 2B et 2A proviennent de défauts artificiels produits par électroérosion. Ils ont une largeur de 0.24 mm et une profondeur variant de 0.45mm à 0.11mm. Pour cette largeur, il est possible, à partir de ces résultats, de connaître la profondeur pour d'autres défauts de profondeur inconnu mais ayant cette même largeur.

La courbe 5A a la même profondeur que la courbe 2A mais une largeur a peu près deux fois plus faible. Il est donc impossible à l'aide des courbes 2 A-B-C-D d'extrapoler directement la profondeur de la fissure associée à la courbe 5A.

Figure 9B



La courbe 9B contient deux signaux représentant des fissures provenant de défauts de même volume. Dans un des cas, nous avons 0.115 mm (soit 0.225mm x 0.512 mm) et dans l'autre 0.113 mm (soit 0.452 mm x 0.250). Il est possible de dire, à partir de ces mesures, que la réponse courants de Foucault n'est pas uniquement sensible au volume de la fissure. Le paramètre largeur et profondeur ont donc un comportement qui leur est propre.

Il est donc clair que les défauts artificiels par électroérosion ne permettent pas de calibrer de façon précise les instruments à courants de Foucault. Une autre méthode, cette fois plus coûteuse, permet de générer artificiellement des défauts. Pour ce faire, la pièce à tester est mise en charge cyclique et une fissure de fatigue apparaît. Ceci permet de produire des fissures ayant des largeurs très faibles, donc plus près de la réalité.

Défauts_sous_la_surface

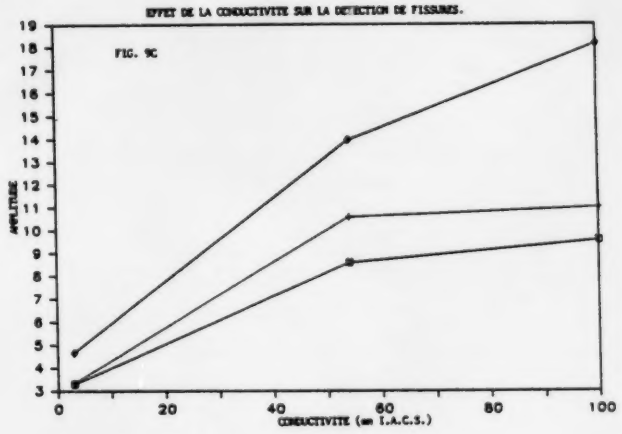
Fréquemment, les défauts à détecter se situent sous la surface du matériau. Dans le cas des matériaux magnétiques, même pour de faibles profondeurs, il est souvent impossible de détecter des défauts. Il est cependant possible d'augmenter cette profondeur de détectabilité en saturant magnétiquement le matériau. Pour les matériaux non magnétiques, cette profondeur de détectabilité dépend alors de sa conductivité électrique. Plus il sera conducteur, plus le seuil de détectabilité sera près de la surface.

Ce seuil de détectabilité dépend aussi de la fréquence d'opération du test, du type de sonde utilisé ainsi que de ses dimensions. Toutes les mesures effectuées jusqu'à présent démontrent que les sondes en pont d'impédance sont, de beaucoup, moins sensibles que les sondes en transformateur différentiel pour ce type de mesure. Par contre, une sonde en tranformateur différentiel, optimisé pour une détection de défauts sous la surface, est moins sensible à des défauts en surface que les sondes en pont d'impédance. Un exemple de la détection de tels défauts apparaît dans le chapitre traitant des balayages en fréquence.

Variation_du_signal_courants_de_Foucault_en_fonction_de_la_conductivité

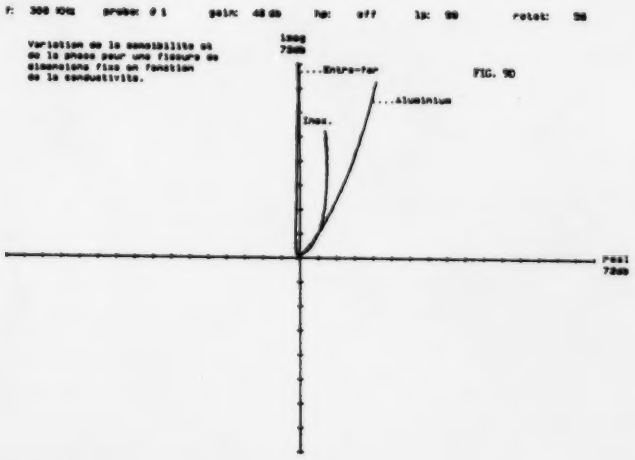
La conductivité électrique est un paramètre qui influence de plusieurs façons les signaux courants de Foucault associés à la détection des fissures. La figure 9C comporte trois courbes associées chacune à un matériau. En abscisse nous avons la conductivité et en ordonné la valeur du signal courants de Foucault. Les trois matériaux testés sont: du cuivre avec 100% IACS, un alliage d'aluminium avec 55% IACS et de l'acier inoxidable avec 3.25% IACS.

Figure 9C



Ces résultats mettent en évidence que plus la conductivité électrique est élevée, plus il sera facile de détecter de petites fissures.

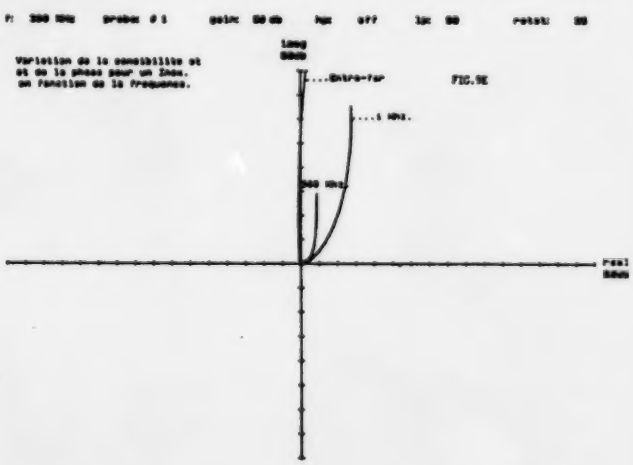
Figure 9D



La conductivité a un autre effet sur la détection des fissures. La figure 9D présente la détection de deux fissures de même dimension. Dans le premier cas cette fissure est dans une barre d'aluminium (55% IACS) et dans l'autre cas dans une barre en acier inoxidable (3.25% IACS).

La variation d'entrefer a été placée sur l'axe des imaginaires. Le plus petit signal correspond à la fissure dans l'acier et le plus gros signal à l'aluminium. En plus d'être plus petit, l'écart d'angle entre la variation d'entrefer et le signal de la fissure est plus petit pour l'acier. Ceci a pour effet de produire une projection plus petite sur l'axe des réels ce qui se traduit par une moins bonne discrimination entre les signaux engendrés par les fissures et ceux provenant de la variation de l'entrefer. Cette baisse de sensibilité, pour les défauts en surface, est causée par une plus grande pénétration des courants de Foucault. En augmentant la fréquence, il est alors possible d'augmenter la sensibilité des sondes aux défauts, et en même temps d'augmenter l'écart d'angle entre les divers paramètres déjà énoncés, tels que démontrés dans la figure 9E. Dans cet exemple, le signal le long de l'axe des imaginaires est causé par l'entrefer, le plus petit signal par la fissure à 300 KHz et le plus gros, par la même fissure à une fréquence de 1 MHz.

Figure 9E



Effet de l'entrefer sur la détection de fissures

Introduction

La variation d'entrefer est l'un des paramètres qui cause le plus d'erreur dans l'évaluation de la profondeur des fissures. Les figures 9F et 9G démontrent la perte de sensibilité en fonction de l'entrefer.

Figure 9F

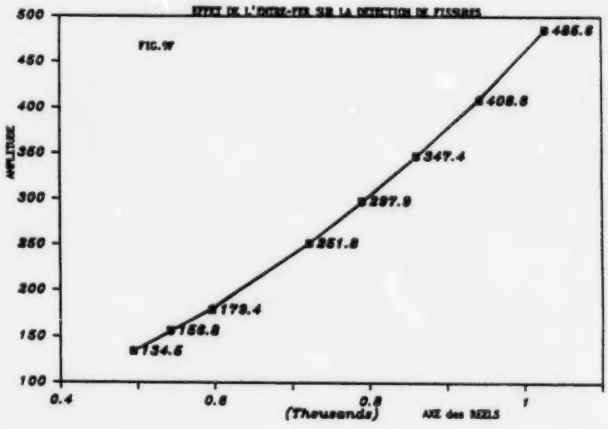
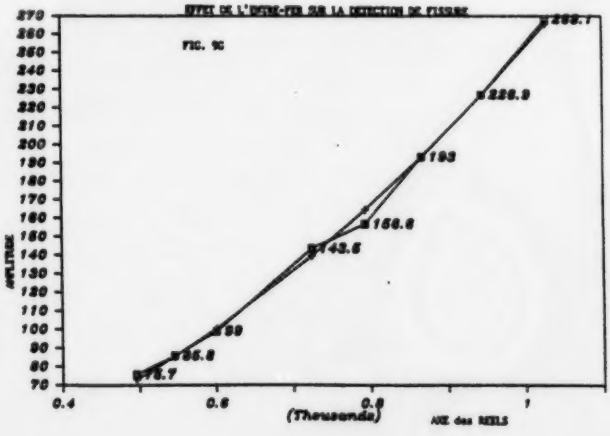


Figure 9G



La figure 9F correspond à une fissure de 0.50 mm et la figure 9G à une fissure de 0.25 mm. Les valeurs associées aux petits carrés correspondent aux amplitudes mesurées pour les deux fissures. Ainsi dans la figure 9F le point ayant la valeur 485.6 est une mesure de la fissure sans entrefer. Le point 408.6 est la mesure de la même fissure mais avec une première valeur d'entrefer et ainsi de suite pour toutes les autres valeurs. Donc, pour divers entrefers, la mesure de la fissure passe de 485.6 sans entrefer à 134.5 pour un entrefer d'environ 1 mm.

Il en résulte que si, lors d'un test par courants de Foucault, il est impossible de garder la valeur de l'entrefer constante, il n'est pas possible non plus de savoir qu'elle est la profondeur des fissures détectées. Dans le but d'éliminer cet effet indésirable, une méthode de correction de la perte de sensibilité a été mise au point.

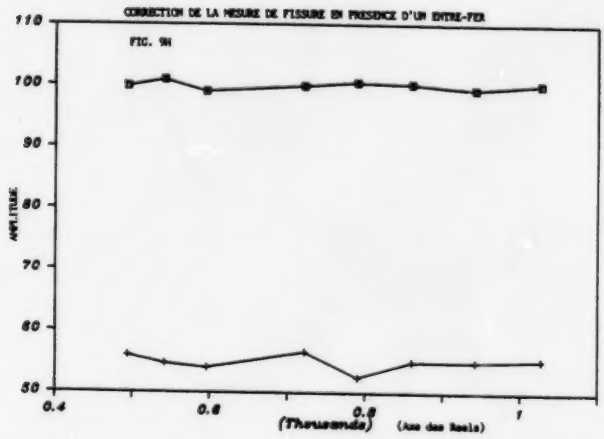
Correction de la perte de sensibilité

Comme cela a été décrit dans le chapitre précédent, il est possible d'éliminer l'effet de l'entrefer en le plaçant par rotation vectorielle sur un axe particulier et en examinant la projection sur l'autre axe pour la détection des fissures. cependant cette méthode ne corrige pas la perte de sensibilité. Pour cette perte de sensibilité, une méthode expérimentale a été mise au point. La première étape consiste à éduquer le système pour qu'il puisse reconnaître un signal de fissure parmi tous les autres signaux. Il faut donc fournir au système la réponse typique causée par une fissure. Dans ce cas-ci, la détection des fissures est faites en utilisant une sonde différentielle. Les paramètres à fournir au système sont: la largeur de chacun des lobes et son sens. En faisant alors une corrélation entre les résultats obtenus et la réponse typique de la sonde, le système est à même d'isoler toutes présences de fissures.

Une fois la fissure isolée, une mesure en est faite. Cette première mesure est alors gardée en mémoire pour être corrigée plus tard. A chacune des mesures faites avec la sonde différentielle, est associé une série de mesures faites en utilisant une sonde absolue. Ces mesures permettent de passer en plan d'impédance. Il n'est pas important de connaître la valeur de l'entrefer présent lors de la mesure car à chacune des valeurs d'entrefer est associée une position dans le plan d'impédance. De plus, à chacune des positions dans le plan d'impédance, est associée une perte de sensibilité. Il est alors possible, connaissant cette position dans le plan d'impédance, d'appliquer le facteur de correction correspondant. Cependant il faut éliminer le signal de la fissure qui apparaît aussi lors de la mesure en absolue. Pour ce faire, le logiciel tronque la partie de la courbe contenant le signal de la fissure et puis, à partir de ce qui reste de la courbe, reconstruit la partie manquante. Par la suite le logiciel mesure la position occupée par la fissure dans le plan d'impédance et corrige alors la valeur différentielle de la fissure préalablement mise en mémoire.

Les figures 9F et 9G sont construites comme suit. Les chiffres associés aux petits carrés correspondent aux mesures des fissures en différentielles. Les axes "X" et "Y" correspondent respectivement aux axes réel et imaginaire du plan d'impédance. Alors à chacune des mesures faites avec la sonde différentielle, est associée une position dans le plan d'impédance. Cette position découle de la mesure en absolue. La courbe ainsi décrite correspond à la perte de sensibilité en fonction de la position dans le plan d'impédance. C'est à partir de cette position que l'on peut corriger l'erreur entraînée par les variations d'entrefer.

Figure 9H



Dans la figure 9H la valeur de la fissure de 0.50 mm a été normalisée à une valeur de 100 et celle de 0.25 mm à une valeur de 55. La variation d'entrefer a été placée sur l'axe des "X" et la mesure de la profondeur de lafissure, après correction, sur l'axe des "Y". L'erreur résultante après correction est maintenant de 2% pour la fissure de 0.50 mm et de 4% pour la fissure de 0.25 mm. Avant correction,ces erreurs étaient de 360% pour la fissure de 0.50 mm et de 354% pour la fissure de 0.25 mm.

Conclusion

Les problèmes associés à une évaluation précise des fissures sont variés. Ils proviennent parfois de la dimension même des défauts, de la conductivité électrique du matériau, de la profondeur à laquelle il se trouve , de la variation d'entrefer, etc,. Comme il fût démontré pour l'erreur entraînée par la présence d'entrefer, il est possible , en utilisant certains algorithmes mathématiques, de réduire leur effet sinon dans certain cas de les éliminer complètement.

Il reste cependant a rendre ces algorithmes tant performant que faciles à utiliser tout en gardant le temps de traitement le plus court possible.

ANNEXE 1

PROGRAMME D'OPTIMISATION DES SONDES

OPTI-SONDE

La conception des sondes à courants de Foucault est généralement basée sur l'expérience du concepteur. Selon le type de sonde, l'instrument utilisé et l'application, le concepteur peut aisément réaliser une sonde en suivant quelques principes découlant de la théorie des courants de Foucault. Cependant, la sonde joue un rôle déterminant dans le processus et son optimisation est indispensable pour les applications spécifiques. Depuis le début des années 70, plusieurs chercheurs proposent différentes techniques pour simuler le comportement d'une sonde suivant le phénomène de diffusion par les courants de Foucault. L'une de ces méthodes consiste à évaluer directement le potentiel vecteur pour calculer l'impédance d'une bobine.

Théorie

Le problème sur lequel nous nous sommes attardé consiste à prédire l'impédance d'une sonde en transformateur différentiel ("reflection probe") surplombant un milieu constitué d'un empillement de matériaux conducteurs ayant différentes conductivités (figure 1 et 2).

Figure 1

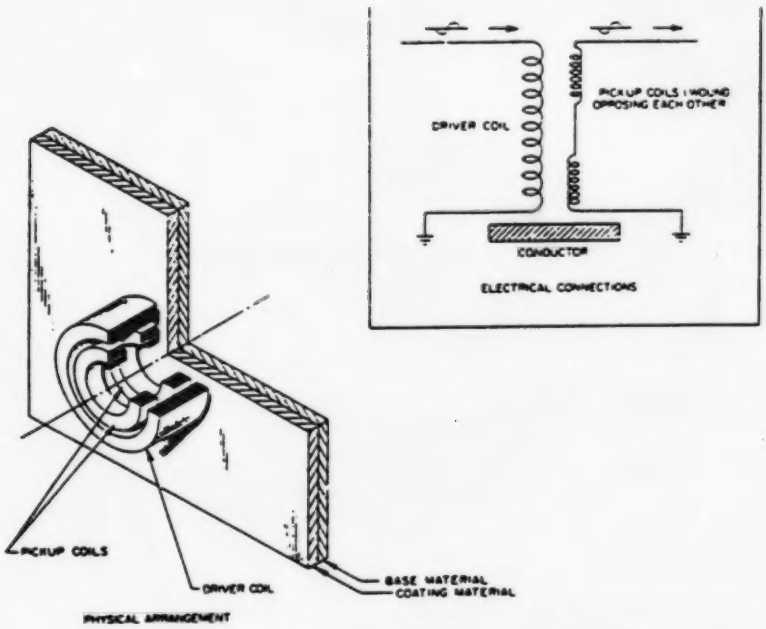


Fig. 1. Coil and Conductor Arrangements for Reflection Test Method.

Figure 2

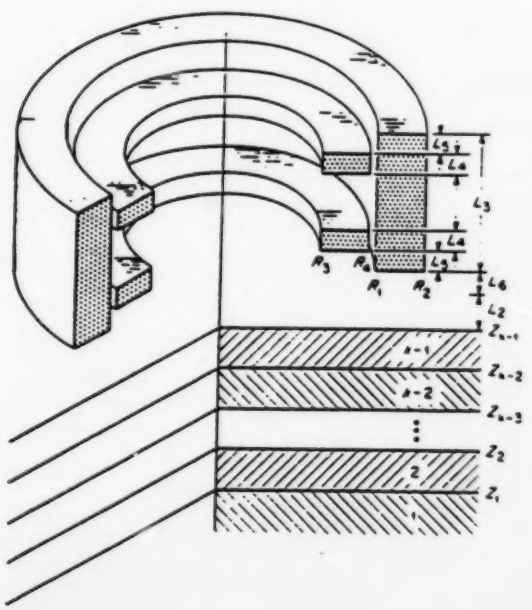


Fig. 2. Reflection Probe Above Multiple Conductors.

L'approximation numérique que nous utilisons consiste à calculer le potentiel vecteur électromagnétique à l'aide de l'équation d'Helmholtz. On solutionne celle-ci en développant un système d'équation découlant des conditions aux limites entre les couches. Ensuite, il suffit d'intégrer le potentiel vecteur sur le domaine de la bobine afin de calculer son impédance.

Cette technique, communément appelée "boundery value problem", est largement décrite par Dood et Deed (1). On tire avantageusement profit de cette méthode sur les micro-ordinateurs; l'intégration numérique est complexe mais nécessite beaucoup moins d'opérations que les techniques de relaxation (différence finie).

Programme opti-sonde

Le programme opti-sonde a été conçu dans le but de simuler le comportement d'une sonde de surface pour les applications multicouches. Le programme a été adapté pour un seul type de sonde, soit la sonde montée en transformateur différentiel. Le logiciel vise une application multicouche jusqu'à concurrence de 8 couches. Les propriétés caractérisant celles-ci, soit l'épaisseur, la conductivité et la perméabilité, sont constantes sur tout leur domaine. Les critères géométriques à respecter sont: les couches doivent être planes ou avoir un faible rayon de courbure et l'ensemble sonde et couches sont parallèles entre eux. "Opti-sonde" est employé pour optimiser les dimensions et les caractéristiques électriques d'une sonde afin de mesurer la variation d'un seul paramètre d'une des couches constituant l'assemblage et ceci, pour une gamme spécifiée de fréquences.

Le programme se conforme à un algorithme très strict. L'utilisateur doit initialiser le programme en fournissant les caractéristiques électriques de l'appareil, les caractéristiques des couches ainsi que borner l'intervalle des dimensions des bobines. L'étape suivante est le calcul proprement dit des meilleures sondes. Pour ce faire, opti-sonde calcule la variation du signal induit causée par la variation d'un paramètre d'une des couches. Les dimensions des sondes utilisées pour les calculs sont générées par un algorithme et "opti-sonde" calcule la variation du signal induit pour chacune d'elles. Les dix meilleures sondes seulement seront conservées.

Le temps requis pour effectuer les calculs dépend du nombre de paramètres de la sonde qui peuvent varier. Plus ce nombre est élevé, plus grand sera le nombre de sonde dans l'intervalle borné. De façon générale, il faut compter plusieurs heures pour que le programme épuise toutes les possibilités. Nous pouvons diminuer considérablement le temps de calcul en faisant un choix judicieux des dimensions du premier essai et en optimisant un paramètre de sonde à la fois. En procédant ainsi, les données devraient convergées vers les dimensions optimales en 3 ou 4 essais.

BIBLIOGRAPHIE

ORNL/TM-6858; Computer-aided desing of multifrequency eddy current tests for layered conductors whit multiple property variations. W.E. Deeds, C.V. Dodd, G.M. Scott. Oak Ridge National Laboratory. October 1979.
Department of energy.

OPTI SONDE INPUT: GAIN = 150

F_1 = 15 Hz

F_2 = 50 Hz

F_3 = 150 Hz

Lift off = 1 mm

Resistivité = 25 μΩ·cm

Epaisseur = 1,25 cm

μ relatif = 10 et 20

Parametre :

R_3 = 4 et 6 mm

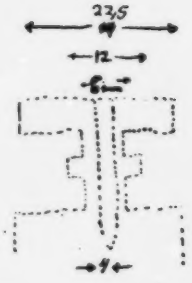
T_P = 2 et 4 mm

L_3 = 10 mm

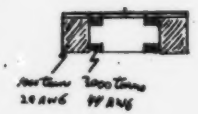
T_D = 6, 8 et 10 mm

T_{NPU} = 500, 1000, 1500, 2000, 3000

T_{NDR} = 200, 500, 1000, 1500, 3000



Bobine déjà faite avec ferrite



calculs 1" = 2cm

COIL NUMBER: 243 GAIN: 150.0 SUMVAR: 10.14909982

* R3:	.2362	Tp:	.1575	Td:	.3150			
* L4:	.0787	L3:	.3937	TNPU:	3000.0	TNDR:	1000.0	

* MEAN RADIUS: .55118 INCHES

	INN. RAD	OUT. RAD	LENGTH	TURNS EA	(AWG)	L.O./MICARTA
* DRIVER	.3937	.7087	.3937	1000.0	29	.0394
* PICK-UP	.2362	.3937	.0787	3000.0	44	.0394

	SER/SHT-RES	DC-RES	SHUNT-CAP.	COIL-INDUCT	RES.FREQ	DRIV.-VOLT
* DVR CKT	.010	35.397	5.000E -12	1.344E -2	3.857E 6	3.5355
* PICK CKT	.500E 12	1375.227	5.000E -12	1.495E -1	1.157E 6	

ççççç PERMEABILITY VALUE #1 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)			(FREQUENCY: 5.0000E 1)			(FREQUENCY: 1.5000E 2)		
AMPL: 6.4935	REAL:	.3692	AMPL: 21.4215	REAL:	3.2854	AMPL: 58.9566	REAL:	24.8856
PHA : 86.7401	IMAG:	6.4830	PHA : 81.1779	IMAG:	21.1681	PHA : 65.0327	IMAG:	53.4470

ççççç PERMEABILITY VALUE #2 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)			(FREQUENCY: 5.0000E 1)			(FREQUENCY: 1.5000E 2)		
AMPL: 7.2090	REAL:	.4173	AMPL: 23.7727	REAL:	3.7427	AMPL: 65.1509	REAL:	28.1103
PHA : 86.6813	IMAG:	7.1969	PHA : 80.9419	IMAG:	23.4762	PHA : 64.4395	IMAG:	58.7746

Conseil : R_3 = 6mm

2ième essai

↓

lift-off = 1 mm

COIL NUMBER: 257 GAIN: 150.0 SUMVAR: 7.7941999?4

* R3: .2362 Tp: .1575 Td: .3937
* L4: .0787 L3: .3937 TNPU: 3000.0 TNDR: 1500.0

* MEAN RADIUS: .59055 INCHES

	INN. RAD	OUT. RAD	LENGTH	TURNS EA	(AWG)	L.O./MICARTA
* DRIVER	.3937	.7874	.3937	1500.0	30	.0394
* PICK-UP	.2362	.3937	.0787	3000.0	44	.0394

	SER/SHT-RES	DC-RES	SHUNT-CAP.	COIL-INDUCT	RES.FREQ	DRIV.-VOLT
* DVR CKT	.010	71.229	5.000E -12	3.387E -2	2.430E 6	3.5355
* PICK CKT	.500E 12	1375.227	5.000E -12	1.602E -1	1.117E 6	

ççççç PERMEABILITY VALUE #1 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)			(FREQUENCY: 5.0000E 1)			(FREQUENCY: 1.5000E 2)		
AMPL: 4.8483	REAL:	.3492	AMPL: 15.8924	REAL:	3.0807	AMPL: 41.8060	REAL:	21.3181
PHA : 85.8692	IMAG:	4.8358	PHA : 78.8225	IMAG:	15.5910	PHA : 59.3409	IMAG:	35.9622

ççççç PERMEABILITY VALUE #2 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)			(FREQUENCY: 5.0000E 1)			(FREQUENCY: 1.5000E 2)		
AMPL: 5.3916	REAL:	.3960	AMPL: 17.6601	REAL:	3.5207	AMPL: 46.1494	REAL:	24.0421
PHA : 85.7884	IMAG:	5.3771	PHA : 78.5006	IMAG:	17.3056	PHA : 58.6032	IMAG:	39.3922

COIL NUMBER: 258 GAIN: 150.0 SUMVAR: 7.78579998

* R3: .2362 Tp: .1575 Td: .3150
* L4: .1575 L3: .3937 TNPU: 3000.0 TNDR: 1000.0

* MEAN RADIUS: .55118 INCHES

	INN. RAD	OUT. RAD	LENGTH	TURNS EA	(AWG)	L.O./MICARTA
* DRIVER	.3937	.7087	.3937	1000.0	29	.0394
* PICK-UP	.2362	.3937	.1575	3000.0	41	.0394

	SER/SHT-RES	DC-RES	SHUNT-CAP.	COIL-INDUCT	RES.FREQ	DRIV.-VOLT
* DVR CKT	.010	35.397	5.000E -12	1.344E -2	3.857E 6	3.5355
* PICK CKT	.500E 12	1098.785	5.000E -12	1.025E -1	1.397E 6	

ççççç PERMEABILITY VALUE #1 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)			(FREQUENCY: 5.0000E 1)			(FREQUENCY: 1.5000E 2)		
AMPL: 4.8358	REAL:	.2749	AMPL: 15.9528	REAL:	2.4466	AMPL: 43.9056	REAL:	18.5325
PHA : 86.7407	IMAG:	4.8280	PHA : 81.1779	IMAG:	15.7641	PHA : 65.0328	IMAG:	39.8026

ççççç PERMEABILITY VALUE #2 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)			(FREQUENCY: 5.0000E 1)			(FREQUENCY: 1.5000E 2)		
AMPL: 5.3687	REAL:	.3107	AMPL: 17.7040	REAL:	2.7872	AMPL: 48.5192	REAL:	20.9342
PHA : 86.6819	IMAG:	5.3597	PHA : 80.9419	IMAG:	17.4832	PHA : 64.4395	IMAG:	43.7707

R_3: 0,2 0,25 0,3 Ω

T_P: 0,14 0,16 0,18 R

L_3: 0,38 0,40 0,42 Ω

T_D: 0,25 0,30 0,35 R

L_4: 0,07 0,08 0,09 Ω

T_{NPU}: 2000 2600 3000 3500 4000

T_{NDR}: 500 750 1000 1250 1500

COIL NUMBER: [illegible] GAIN: 150.0 SUMVAR: 7.06219950

* R3: .2362 Tp: .1575 Td: .3150
* L4: .0787 L3: .3937 TNPU: 2000.0 TNDR: 1000.0

* MEAN RADIUS: .5610 INCHES

	INN. RAD	OUT. RAD	LENGTH	TURNS	EA(AWG)	L.O./MICARTA
DRIVER	.3937	.7087	.3937	1000.0	29	.0394
PICK-UP	.2362	.3937	.0787	2000.0	42	.0394

	SER/SHT-RES	DC-RES	SHUNT-CAP.	COIL INDUCT	RES.FREQ	DRIV.-VOLT
DVR CKT	.010	35.397	5.000E -12	1.344E -2	3.857E 6	3.5355
PICK CKT	.500E 12	824.900	5.000E -12	6.645E -2	1.735E 6	

$$$$$ PERMEABILITY VALUE #1 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)		(FREQUENCY: 5.0000E 1)		(FREQUENCY: 1.5000E 2)	
AMPL: 4.3290	REAL: .2462	AMPL: 14.2810	REAL: 2.1902	AMPL: 39.3044	REAL: 16.5903
PHA : 86.7402	IMAG: 4.3220	PHA : 81.1779	IMAG: 14.1120	PHA : 65.0328	IMAG: 35.6314

$$$$$ PERMEABILITY VALUE #2 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)		(FREQUENCY: 5.0000E 1)		(FREQUENCY: 1.5000E 2)	
AMPL: 4.8060	REAL: .2782	AMPL: 15.8485	REAL: 2.4951	AMPL: 43.4339	REAL: 18.7401
PHA : 86.6813	IMAG: 4.7980	PHA : 80.9420	IMAG: 15.6508	PHA : 64.4396	IMAG: 39.1831

COIL NUMBER: 99 GAIN: 150.0 SUMVAR: 6.66440010

* R3: .1575 Tp: .1575 Td: .3150
* L4: .0787 L3: .3937 TNPU: 3000.0 TNDR: 1000.0

*MEAN RADIUS: .47244 INCHES

	INN. RAD	OUT. RAD	LENGTH	TURNS	EA(AWG)	L.O./MICARTA
DRIVER	.3150	.6299	.3937	1000.0	29	.0394
PICK-UP	.1575	.3150	.0787	3000.0	44	.0394

	SER/SHT-RES	DC-RES	SHUNT-CAP.	COIL INDUCT	RES.FREQ	DRIV.-VOLT
DVR CKT	.010	30.351	5.000E -12	8.904E -3	4.739E 6	3.5355
PICK CKT	.500E 12	1048.828	5.000E -12	8.767E -2	1.510E 6	

$$$$$ PERMEABILITY VALUE #1 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)		(FREQUENCY: 5.0000E 1)		(FREQUENCY: 1.5000E 2)	
AMPL: 4.1378	REAL: .1733	AMPL: 13.7097	REAL: 1.6040	AMPL: 39.0466	REAL: 13.0114
PHA : 87.5997	IMAG: 4.1342	PHA : 83.2810	IMAG: 13.6155	PHA : 70.5351	IMAG: 36.8149

$$$$$ PERMEABILITY VALUE #2 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)		(FREQUENCY: 5.0000E 1)		(FREQUENCY: 1.5000E 2)	
AMPL: 4.5039	REAL: .1954	AMPL: 15.1046	REAL: 1.8196	AMPL: 43.1431	REAL: 14.6889
PHA : 87.5567	IMAG: 4.5797	PHA : 83.1176	IMAG: 15.0752	PHA : 70.0945	IMAG: 40.5656

COIL NUMBER: 240 GAIN: 150.0 SUMVAR: 6.50609550

* R3: .2362 Tp: .1575 Td: .3150
* L4: .0787 L3: .3937 TNPU: 3000.0 TNDR: 1500.0

* MEAN RADIUS: .55118 INCHES

	INN. RAD	OUT. RAD	LENGTH	TURNS	EA(AWG)	L.O./MICARTA
DRIVER	.3937	.7087	.3937	1500.0	31	.0394
PICK-UP	.2362	.3937	.0787	3000.0	44	.0394

	SER/SHT-RES	DC-RES	SHUNT-CAP.	COIL-INDUCT	RES.FREQ	DRIV.-VOLT
DVR CKT	.010	87.289	5.000E -12	3.025E -2	2.571E 6	3.5355
PICK CKT	.500E 12	1375.227	5.000E -12	1.495E -1	1.157E 6	

$$$$$ PERMEABILITY VALUE #1 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)
AMPL: 3.9513 REAL: .2087
PHA : 86.9728 IMAG: 3.9458

(FREQUENCY: 5.0000E 1)
AMPL: 13.0580 REAL: 1.8312
PHA : 81.9386 IMAG: 12.9289

(FREQUENCY: 1.5000E 2)
AMPL: 36.4141 REAL: 14.2402
PHA : 66.9794 IMAG: 33.5143

$$$$$ PERMEABILITY VALUE #2 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)
AMPL: 4.3867 REAL: .2357
PHA : 86.9202 IMAG: 4.3804

(FREQUENCY: 5.0000E 1)
AMPL: 14.4927 REAL: 2.0865
PHA : 81.7225 IMAG: 14.3417

(FREQUENCY: 1.5000E 2)
AMPL: 40.2678 REAL: 16.1076
PHA : 66.4210 IMAG: 36.9058

COIL NUMBER: 182 GAIN: 150.0 SUMVAR: 6.50609970

* R3: .2362 Tp: .0787 Td: .3150
* L4: .1575 L3: .3937 TNPU: 3000.0 TNDR: 1000.0

* MEAN RADIUS: .47244 INCHES

	INN. RAD	OUT. RAD	LENGTH	TURNS	EA(AWG)	L.O./MICARTA
DRIVER	.3150	.6299	.3937	1000.0	29	.0394
PICK-UP	.2362	.3150	.1575	3000.0	44	.0394

	SER/SHT-RES	DC-RES	SHUNT-CAP.	COIL-INDUCT	RES.FREQ	DRIV.-VOLT
DVR CKT	.010	30.351	5.000E -12	8.904E -3	4.739E 6	3.5355
PICK CKT	.500E 12	1188.092	5.000E -12	9.288E -2	1.467E 6	

$$$$$ PERMEABILITY VALUE #1 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)
AMPL: 4.0283 REAL: .1685
PHA : 87.6025 IMAG: 4.0248

(FREQUENCY: 5.0000E 1)
AMPL: 13.3468 REAL: 1.5616
PHA : 83.2810 IMAG: 13.2551

(FREQUENCY: 1.5000E 2)
AMPL: 38.0130 REAL: 12.6670
PHA : 70.5350 IMAG: 35.8403

$$$$$ PERMEABILITY VALUE #2 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)
AMPL: 4.4626 REAL: .1900
PHA : 87.5595 IMAG: 4.4586

(FREQUENCY: 5.0000E 1)
AMPL: 14.7829 REAL: 1.7714
PHA : 83.1176 IMAG: 14.6763

(FREQUENCY: 1.5000E 2)
AMPL: 42.0010 REAL: 14.3003
PHA : 70.0945 IMAG: 39.4924

COIL NUMBER: 217 GAIN: 150.0 SUMVAR: 6.2400004

* R3: .2362 Tp: .1575 Td: .2362
* L4: .0787 L3: .3937 TNPU: 3000.0 TNDR: 1000.0

* MEAN RADIUS: .51181 INCHES

	INN. RAD	OUT. RAD	LENGTH	TURNS	EA(AWG)	L.D./MICARTA
DRIVER	.3937	.6299	.3937	1000.0	31	.0394
PICK-UP	.2362	.3937	.0787	3000.0	44	.0394

	SER/SHT-RES	DC-RES	SHUNT-CAP.	COIL-INDUCT	RES.FREQ	DRIV.-VOLT
DVR CKT	.010	59.559	5.000E -12	1.195E -2	4.092E 6	3.5355
PICK CKT	.500E 12	1375.227	5.000E -12	1.388E -1	1.200E 6	

$$$$$ PERMEABILITY VALUE #1 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)			(FREQUENCY: 5.0000E 1)			(FREQUENCY: 1.5000E 2)		
AMPL: 3.8134	REAL: .1231		AMPL: 12.6772	REAL: 1.0160		AMPL: 37.0907	REAL: 8.6970	
PHA : 88.1502	IMAG: 3.8114		PHA : 85.4032	IMAG: 12.6364		PHA : 76.4391	IMAG: 36.0567	

$$$$$ PERMEABILITY VALUE #2 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)			(FREQUENCY: 5.0000E 1)			(FREQUENCY: 1.5000E 2)		
AMPL: 4.2282	REAL: .1383		AMPL: 14.0564	REAL: 1.1542		AMPL: 41.0760	REAL: 9.8563	
PHA : 88.1252	IMAG: 4.2260		PHA : 85.2899	IMAG: 14.0089		PHA : 76.1162	IMAG: 39.8759	

COIL NUMBER: 283 GAIN: 150.0 SUMVAR: 6.1058998

* R3: .2362 Tp: .1575 Td: .3937
* L4: .1575 L3: .3937 TNPU: 3000.0 TNDR: 1500.0

* MEAN RADIUS: .59055 INCHES

	INN. RAD	OUT. RAD	LENGTH	TURNS	EA(AWG)	L.D./MICARTA
DRIVER	.3937	.7874	.3937	1500.0	30	.0394
PICK-UP	.2362	.3937	.1575	3000.0	41	.0394

	SER/SHT-RES	DC-RES	SHUNT-CAP.	COIL-INDUCT	RES.FREQ	DRIV.-VOLT
DVR CKT	.010	71.229	5.000E -12	3.387E -2	2.430E 6	3.5355
PICK CKT	.500E 12	1098.785	5.000E -12	1.098E -1	1.350E 6	

$$$$$ PERMEABILITY VALUE #1 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)			(FREQUENCY: 5.0000E 1)			(FREQUENCY: 1.5000E 2)		
AMPL: 3.6177	REAL: .2605		AMPL: 11.8586	REAL: 2.2988		AMPL: 31.1949	REAL: 15.9071	
PHA : 85.8707	IMAG: 3.6084		PHA : 78.8226	IMAG: 11.6337		PHA : 59.3410	IMAG: 26.8344	

$$$$$ PERMEABILITY VALUE #2 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)			(FREQUENCY: 5.0000E 1)			(FREQUENCY: 1.5000E 2)		
AMPL: 4.0231	REAL: .2954		AMPL: 13.1777	REAL: 2.6271		AMPL: 34.4360	REAL: 17.9398	
PHA : 85.7899	IMAG: 4.0123		PHA : 78.5006	IMAG: 12.9132		PHA : 58.6033	IMAG: 29.3939	

COIL NUMBER: 210 GAIN: 150.0 SUMVAR: 5.0000000

* R3: .2362 Tp: .1575 Td: .2362
* L4: .0787 L3: .3937 TNPU: 3000.0 TNDR: 1500.0

* MEAN RADIUS: .51181 INCHES

	INN. RAD	OUT. RAD	LENGTH	TURNS	EA(AWG)	L.O./MICARTA
DRIVER	.3937	.6299	.3937	1500.0	32	.0394
PICK UP	.2362	.3937	.0787	3000.0	44	.0394

	SER/SHT-RES	DC-RES	SHUNT-CAP.	COIL-INDUCT	RES.FREQ	DRIV.-VOLT
DVR CKT	.010	96.939	5.000E -12	2.688E -2	2.728E 6	3.5355
PICK CKT	.500E 12	1375.227	5.000E -12	1.388E -1	1.200E 6	

$$$$$ PERMEABILITY VALUE #1 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)		(FREQUENCY: 5.0000E 1)		(FREQUENCY: 1.5000E 2)	
AMPL: 3.5136	REAL: .1458	AMPL: 11.6500	REAL: 1.2870	AMPL: 33.3596	REAL: 10.5528
PHA : 87.6222	IMAG: 3.5106	PHA : 83.6574	IMAG: 11.5787	PHA : 71.5586	IMAG: 31.6465

$$$$$ PERMEABILITY VALUE #2 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)		(FREQUENCY: 5.0000E 1)		(FREQUENCY: 1.5000E 2)	
AMPL: 3.8958	REAL: .1642	AMPL: 12.9156	REAL: 1.4617	AMPL: 36.9024	REAL: 11.9326
PHA : 87.5842	IMAG: 3.8923	PHA : 83.5017	IMAG: 12.8326	PHA : 71.1339	IMAG: 34.9199

COIL NUMBER: 272 GAIN: 150.0 SUMVAR: 5.57660007

* R3: .2362 Tp: .1575 Td: .3937
* L4: .0787 L3: .3937 TNPU: 2000.0 TNDR: 1500.0

* MEAN RADIUS: .59055 INCHES

	INN. RAD	OUT. RAD	LENGTH	TURNS	EA(AWG)	L.O./MICARTA
DRIVER	.3937	.7874	.3937	1500.0	30	.0394
PICK-UP	.2362	.3937	.0787	2000.0	42	.0394

	SER/SHT-RES	DC-RES	SHUNT-CAP.	COIL-INDUCT	RES.FREQ	DRIV.-VOLT
DVR CKT	.010	71.229	5.000E -12	3.387E -2	2.430E 6	3.5355
PICK CKT	.500E 12	824.900	5.000E -12	7.120E -2	1.676E 6	

$$$$$ PERMEABILITY VALUE #1 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)		(FREQUENCY: 5.0000E 1)		(FREQUENCY: 1.5000E 2)	
AMPL: 3.2322	REAL: .2328	AMPL: 10.5950	REAL: 2.0538	AMPL: 27.8706	REAL: 14.2120
PHA : 85.8692	IMAG: 3.2238	PHA : 78.8226	IMAG: 10.3940	PHA : 59.3411	IMAG: 23.9748

$$$$$ PERMEABILITY VALUE #2 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)		(FREQUENCY: 5.0000E 1)		(FREQUENCY: 1.5000E 2)	
AMPL: 3.5944	REAL: .2640	AMPL: 11.7734	REAL: 2.3471	AMPL: 30.7663	REAL: 16.0280
PHA : 85.7884	IMAG: 3.5847	PHA : 78.5007	IMAG: 11.5371	PHA : 58.6033	IMAG: 26.2615

COIL NUMBER: 241 GAIN: 150.0 SUMVAR: 5.5105951

* R3:	.2362	Tp:	.1575	Id:	.3150			
* L4:	.0787	L3:	.3937	INPU:	1500.0	INDR:	1000.0	

* MEAN RADIUS: .55118 INCHES

	INN. RAD	OUT. RAD	LENGTH	TURNS	EA(AWG)	L.O./MICARTA
* DRIVER	.3937	.7087	.3937	1000.0	29	.0394
* PICK-UP	.2362	.3937	.0787	1500.0	41	.0394

	SER/SHT-RES	DC-RES	SHUNT-CAP.	COIL-INDUCT	RES.FREQ	DRIV.-VOLT
* DVR CKT	.010	35.397	5.000E -12	1.344E -2	3.857E 6	3.5355
* PICK CKT	.500E 12	549.392	5.000E -12	3.738E -2	2.313E 6	

ççççç PERMEABILITY VALUE #1 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)			(FREQUENCY: 5.0000E 1)			(FREQUENCY: 1.5000E 2)		
AMPL: 3.2468	REAL: .1846		AMPL: 10.7107	REAL: 1.6427		AMPL: 29.4783	REAL: 12.4427	
PHA : 86.7402	IMAG: 3.2415		PHA : 81.1779	IMAG: 10.5840		PHA : 65.0329	IMAG: 26.7235	

ççççç PERMEABILITY VALUE #2 /////

(FREQUENCY: 1.5000E 1)			(FREQUENCY: 5.0000E 1)			(FREQUENCY: 1.5000E 2)		
AMPL: 3.6045	REAL: .2087		AMPL: 11.8863	REAL: 1.8713		AMPL: 32.5754	REAL: 14.0550	
PHA : 86.6813	IMAG: 3.5985		PHA : 80.9420	IMAG: 11.7381		PHA : 64.4397	IMAG: 29.3873	

Dimensions des defauts artificiels					
Materiau: Laiton			Conductivite: 18 % I.A.C.S.		
Largeur:	0.0060 "	0.0080 "	0.0100 "	0.0150 "	0.0200 "
Profondeur	0.0185	0.0192	0.0193	0.0210	0.0198
	0.0135	0.0140	0.0132	0.0147	0.0155
	0.0090	0.0093	0.0090	0.0112	0.0108
	0.0043	0.0039	0.0038	0.0062	0.0071

Dimensions des defauts artificiels					
Materiau: Acier inoxydable			Conductivite: 3.25 % I.A.C.S.		
Largeur	0.0063 "	0.0080 "	0.0100 "	0.0145 "	0.0200 "
Profondeur	0.0172	0.0188	0.0172	0.0197	0.0190
	0.0135	0.0142	0.0135	0.0149	0.0134
	0.0087	0.0091	0.0088	0.0101	0.0093
	0.0044	0.0048	.00043	0.0055	0.0043

Dimensions des defauts artificiels					
Materiau: Aluminium			Conductivite: 55 % I.A.C.S.		
Largeur:	0.0077 "	0.0096 "	0.0100 "	0.0145 "	0.0205"
Profondeur	0.0189	0.0182	0.0181	0.0168	0.0190
	0.0133	0.0130	0.0139	0.0120	0.0140
	0.0090	0.0088	0.0092	0.0065	0.0090
	0.0040	0.0044	0.0047	0.0034	0.0045

Dimensions des defauts artificiels					
Materiau: Cuivre			Conductivite: 100% I.A.C.S.		
Largeur:	0.0065 "	0.0080 "	0.0100 "	0.0142 "	0.0200 "
Profondeur	0.0194	0.0189	0.0177	0.0190	0.0184
	0.0150	0.0142	0.0134	0.0143	0.0132
	0.0100	0.0086	0.0090	0.0100	0.0081
	0.0073	0.0038	0.0040	0.0042	0.0048

FIG 2A

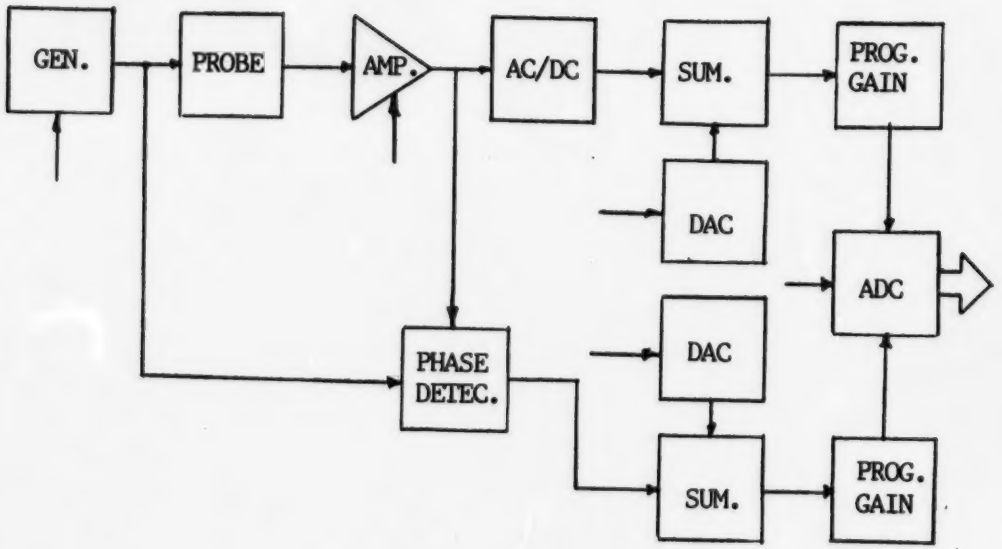

GEN.
PROBE
AMP.
AC/DC
SUM.
PROG. GAIN
DAC
ADC
PHASE DETEC.
DAC
SUM.
PROG. GAIN

FIG. 2B

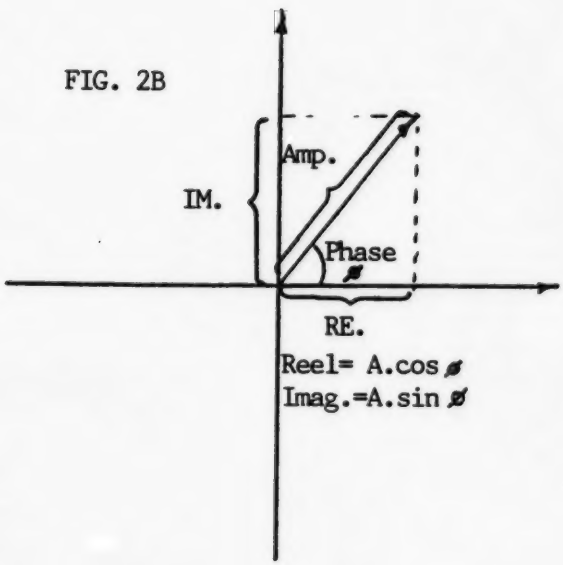


FIG. 2C

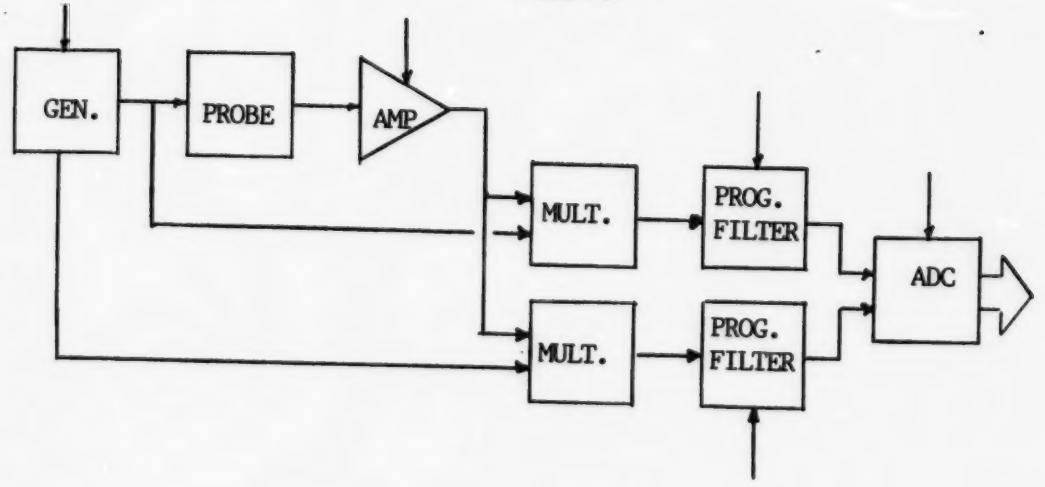


FIG 3A

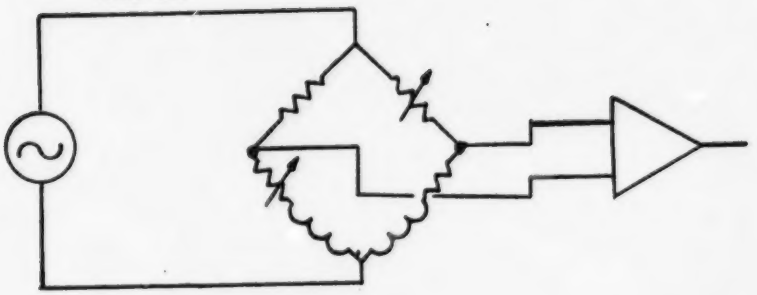


FIG 3B

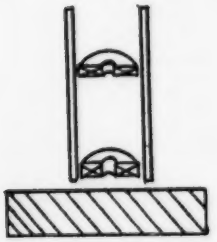


FIG 3C

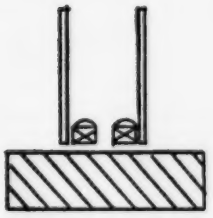


FIG 3D

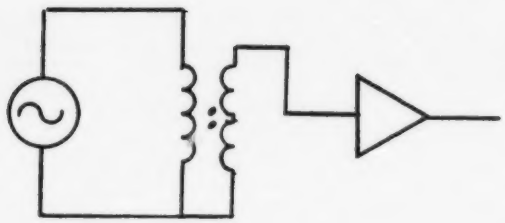


FIG 3E

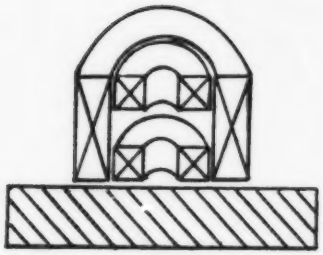


FIG 3F

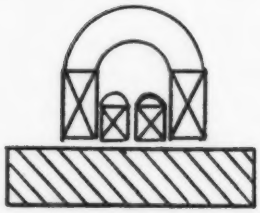


FIG 3G

f: 700 KHz probe: # 1 gain: 44 db hp: off lp: off rotat: 90

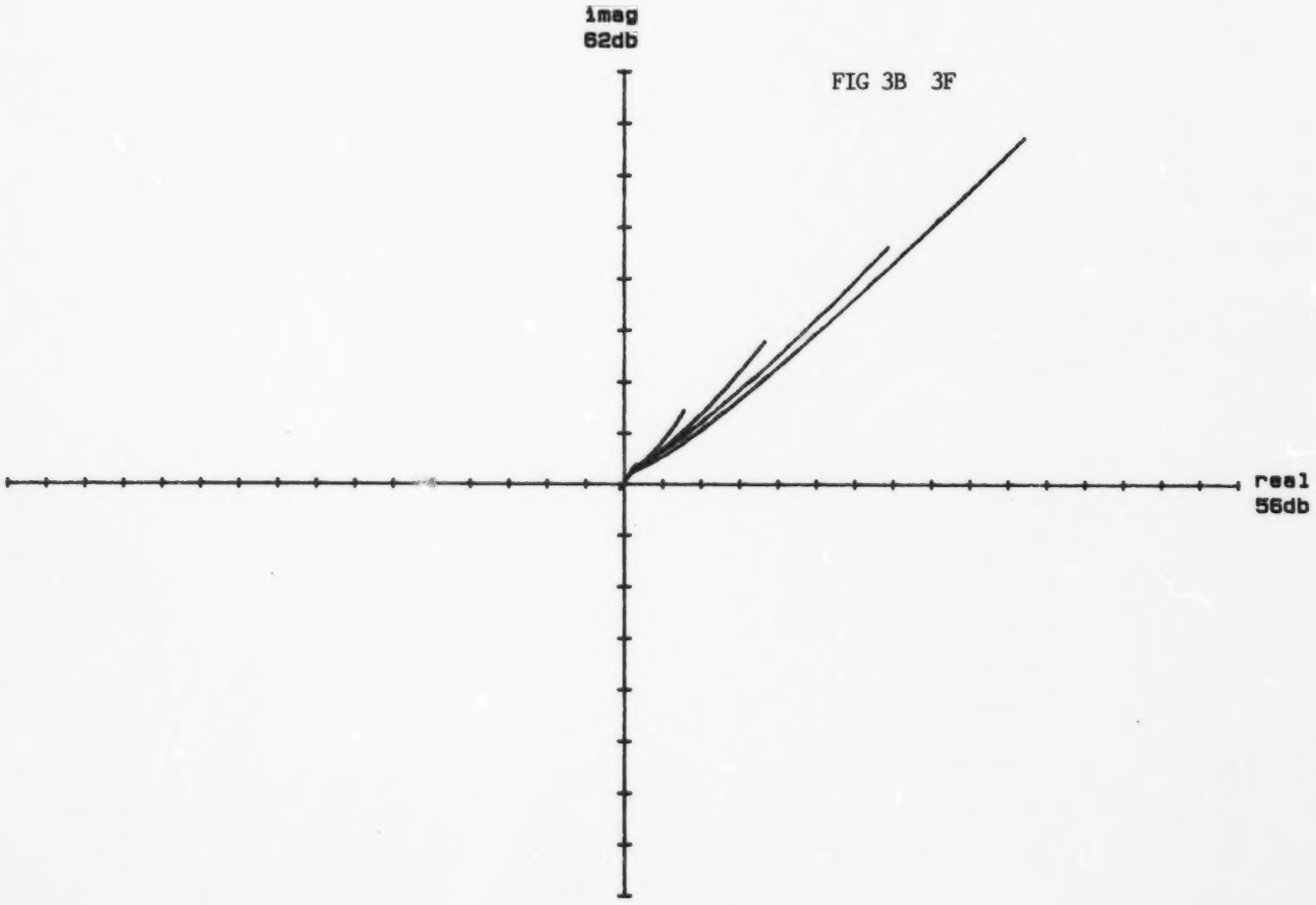


FIG 3B 3F

TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada -- G2E 5G5
Tél: (418) 871-3505

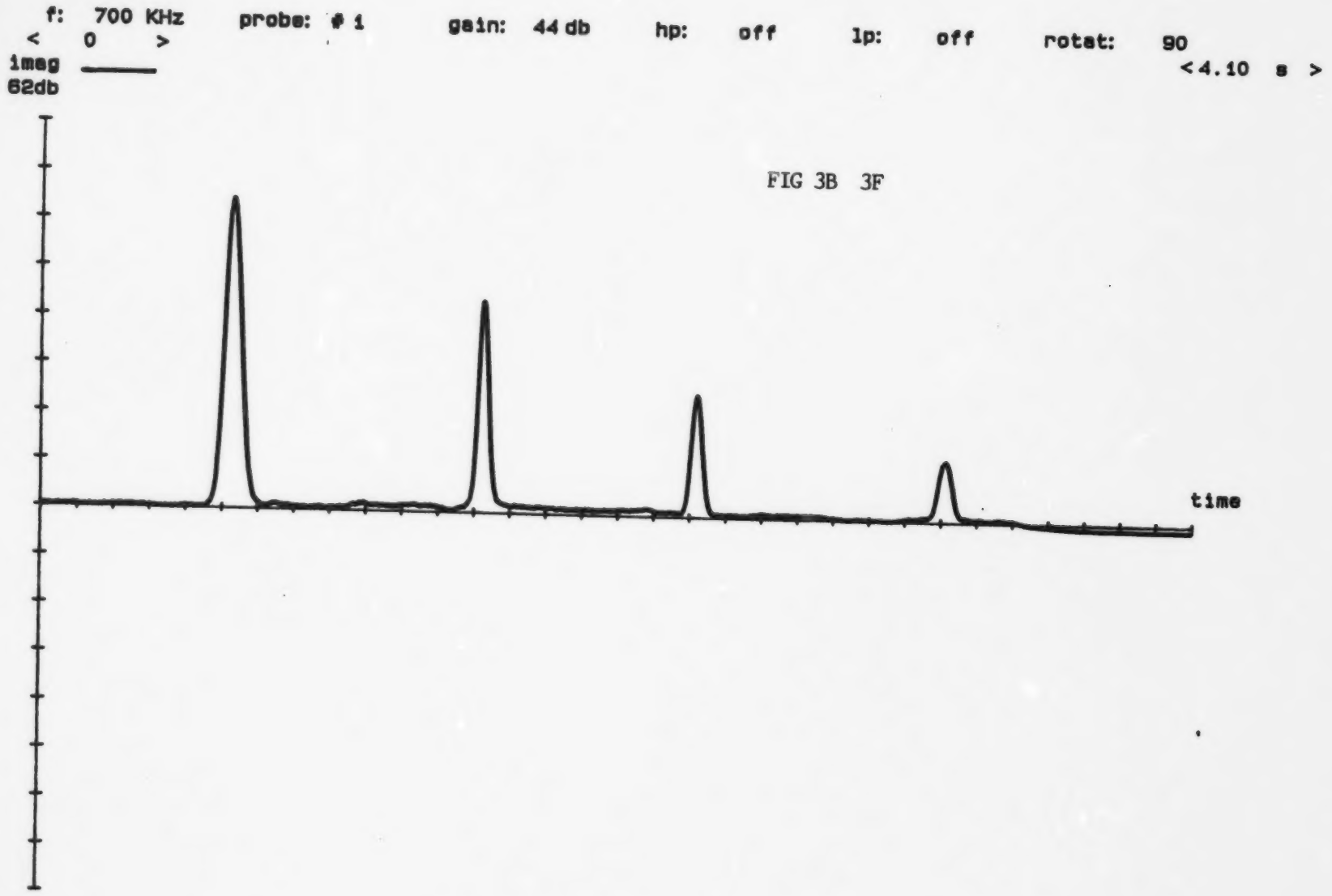


FIG 3B 3F

TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada — G2E 5G5
Tél: (418) 871-3505
Télex: 051-31679

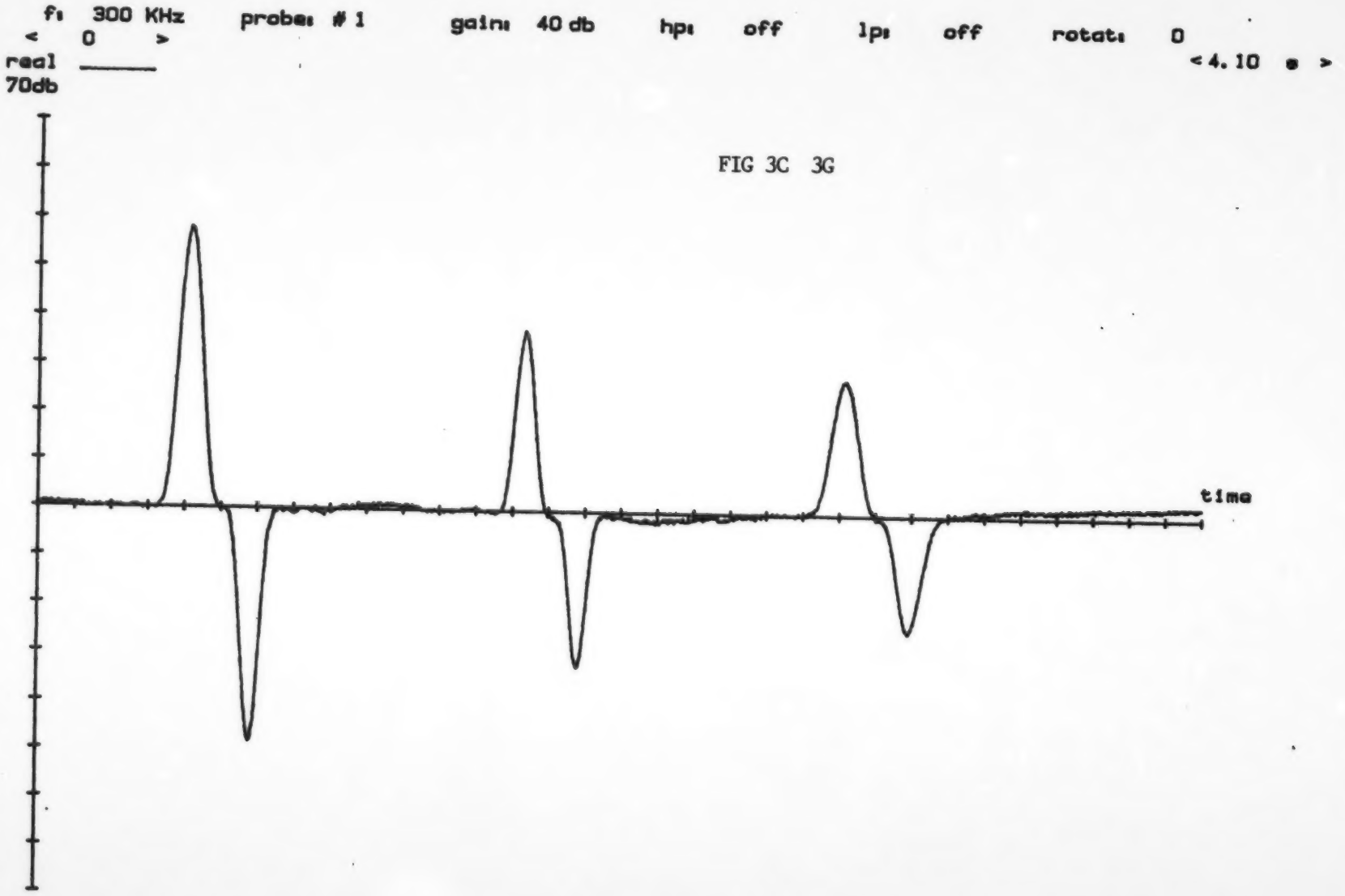

f: 300 KHz
probe: # 1
gain: 40 db
hp: off
lp: off
rotat: 0
< 0 >
real
70db
< 4.10 e >
time

FIG 3C 3G

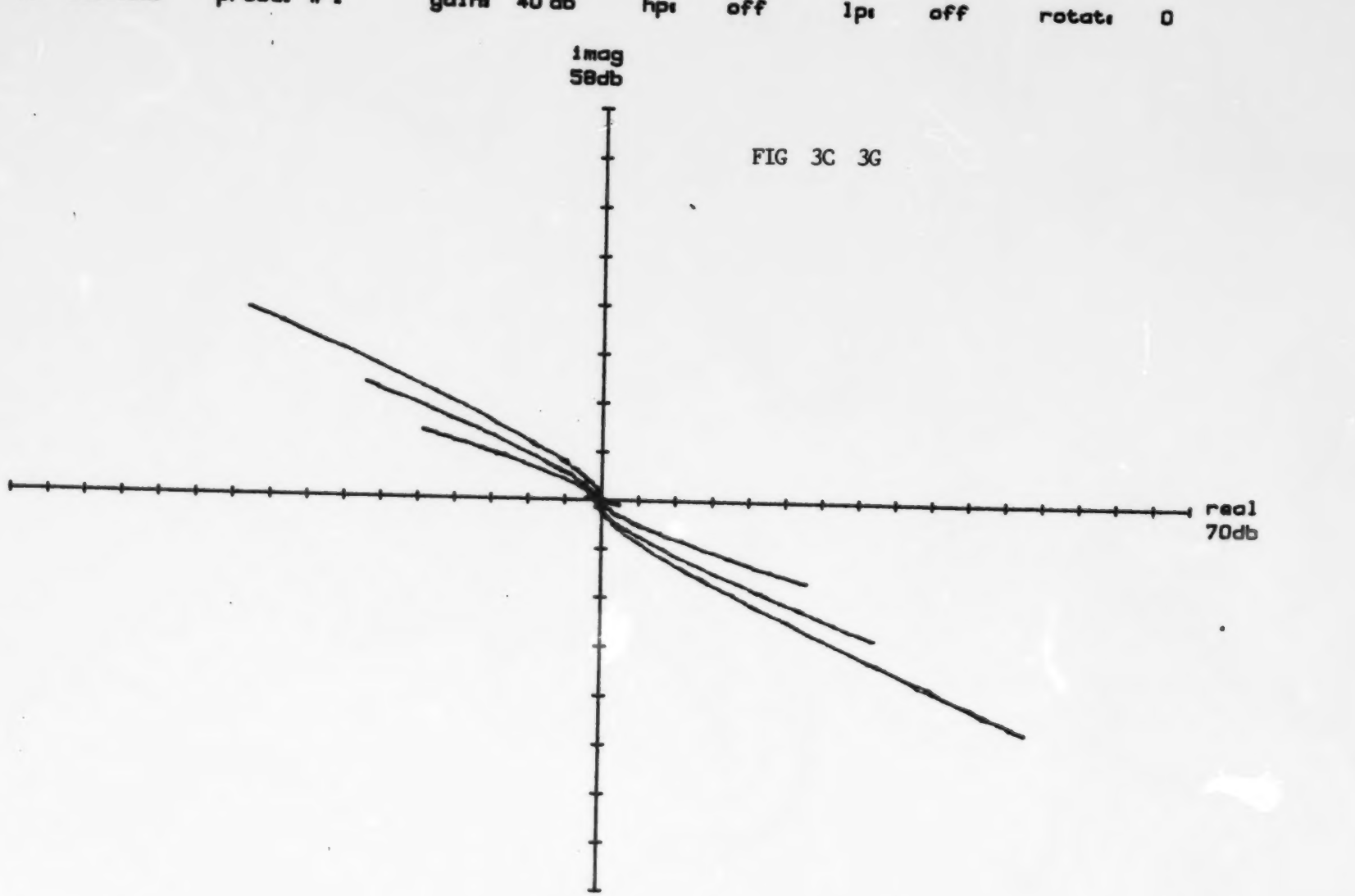

f: 300 KHz
probe: # 1
gain: 40 db
hp: off
lp: off
rotat: 0
imag
58db
real
70db

FIG 3C 3G

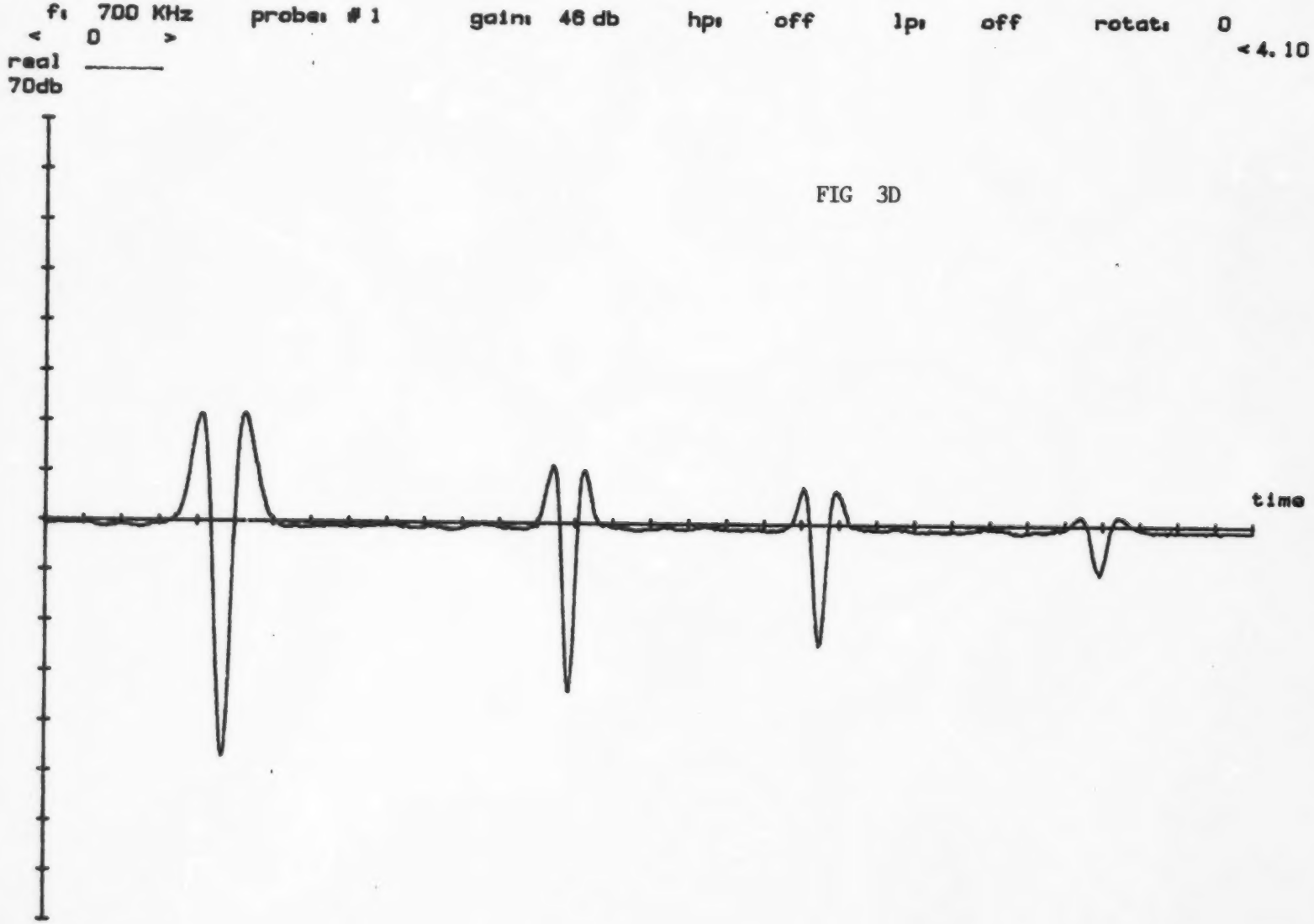

f: 700 KHz
probe: # 1
gain: 46 db
hp: off
lp: off
rotat: 0
< 0 >
real
70db
< 4.10 >
time

FIG 3D

f: 700 KHz probe: # 1 gain: 40 db hp: off lp: off rotat: 0

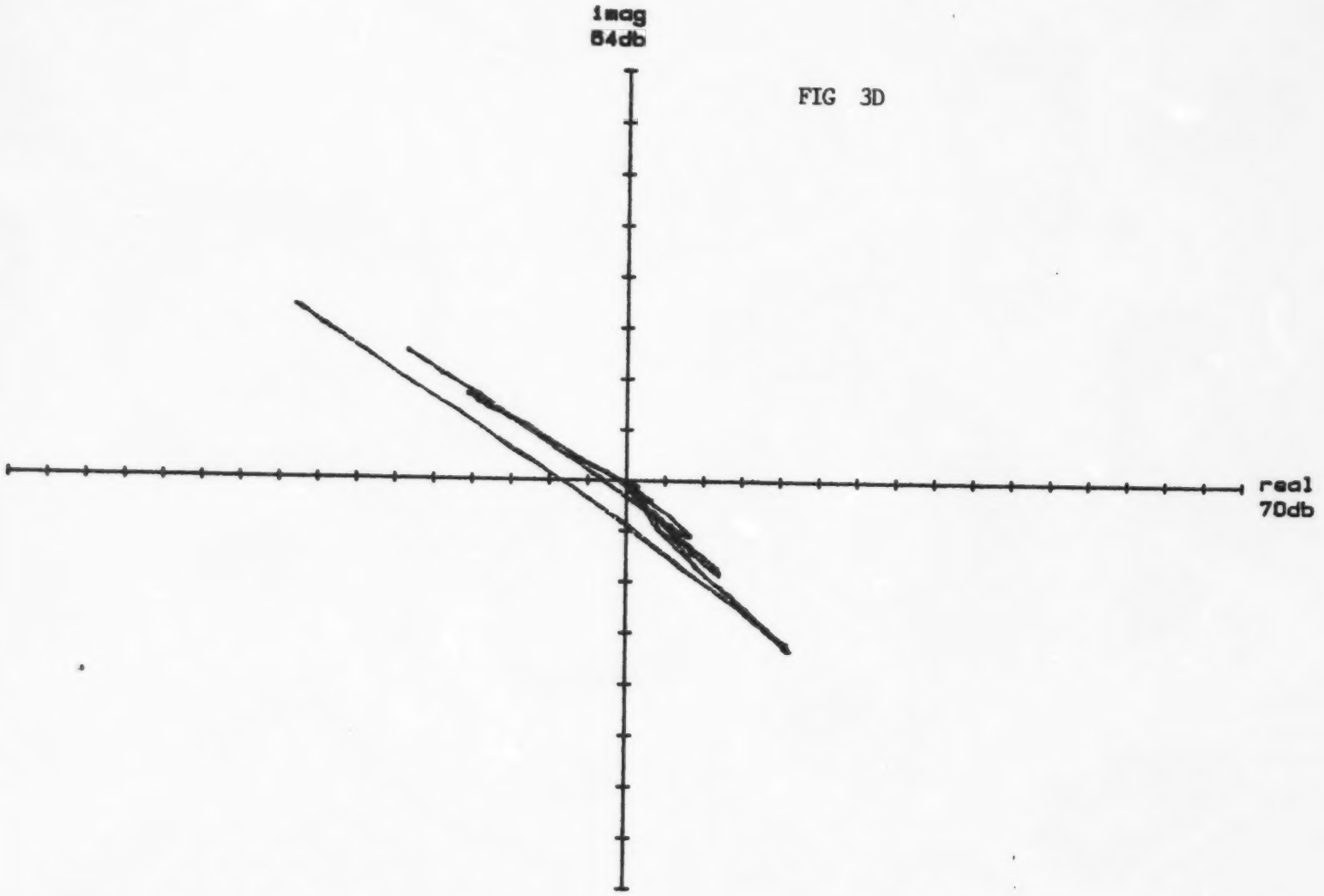
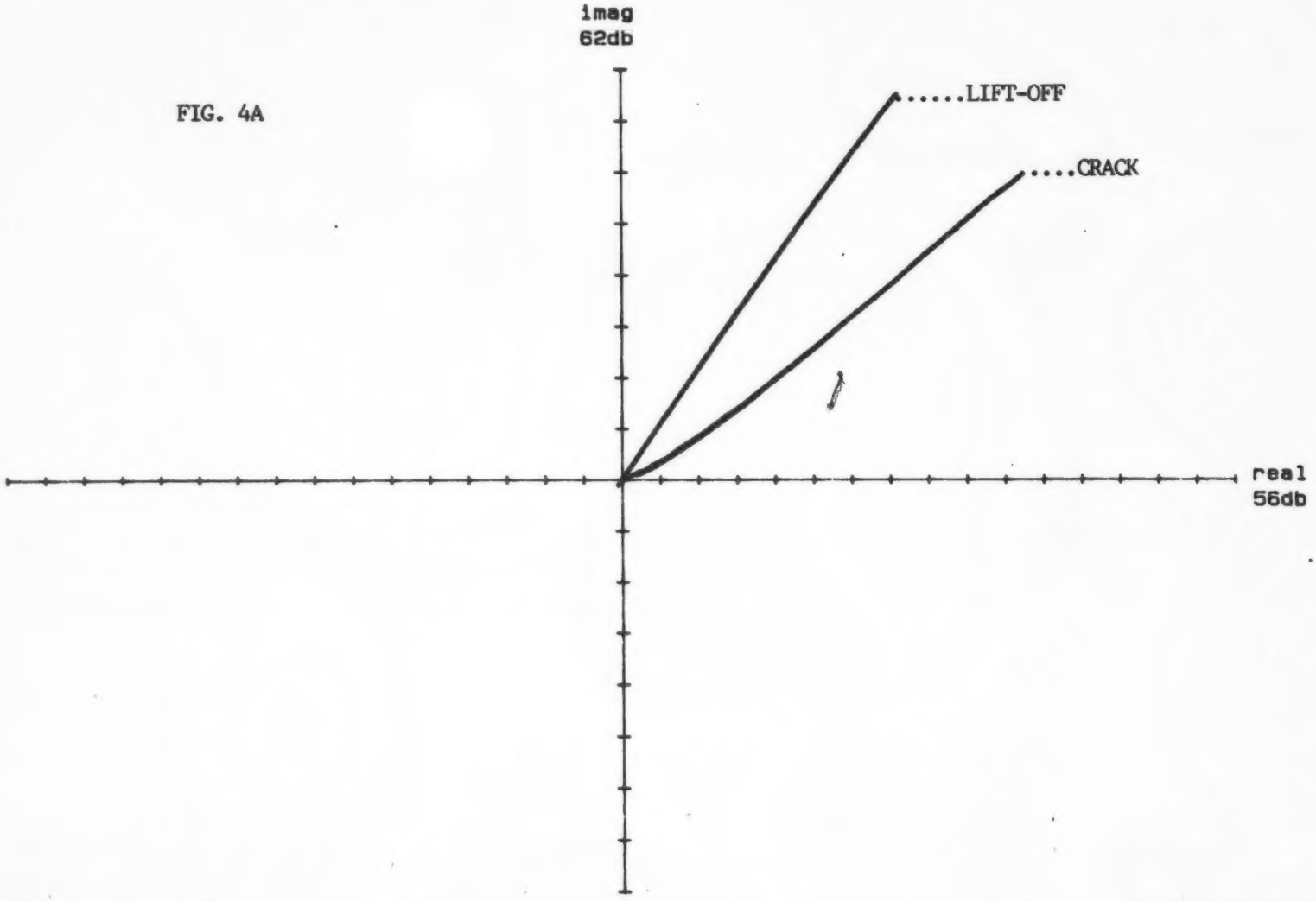


FIG 3D

f: 700 KHz probe: # 1 gain: 44 db hp: off lp: off rotat: 90

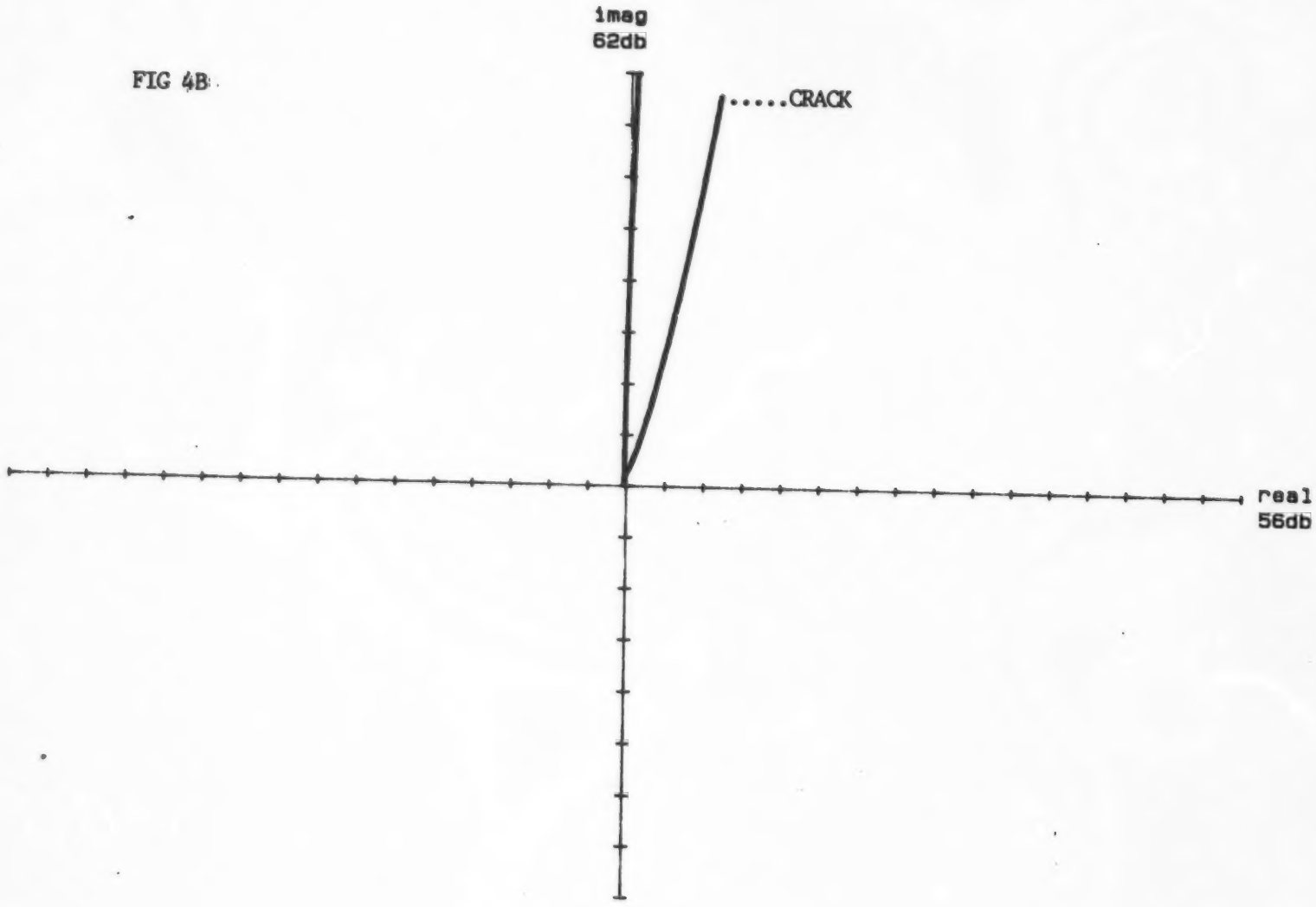
FIG. 4A



TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada -- G2E 5G5
Tél.: (418) 871-3505
Télex: 051-31679

f: 700 KHz probe: # 1 gain: 44 db hp: off lp: off rotat: 132

FIG 4B



TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada — G2E 5G5
Tél. (418) 871-3505
Telex 051-31679

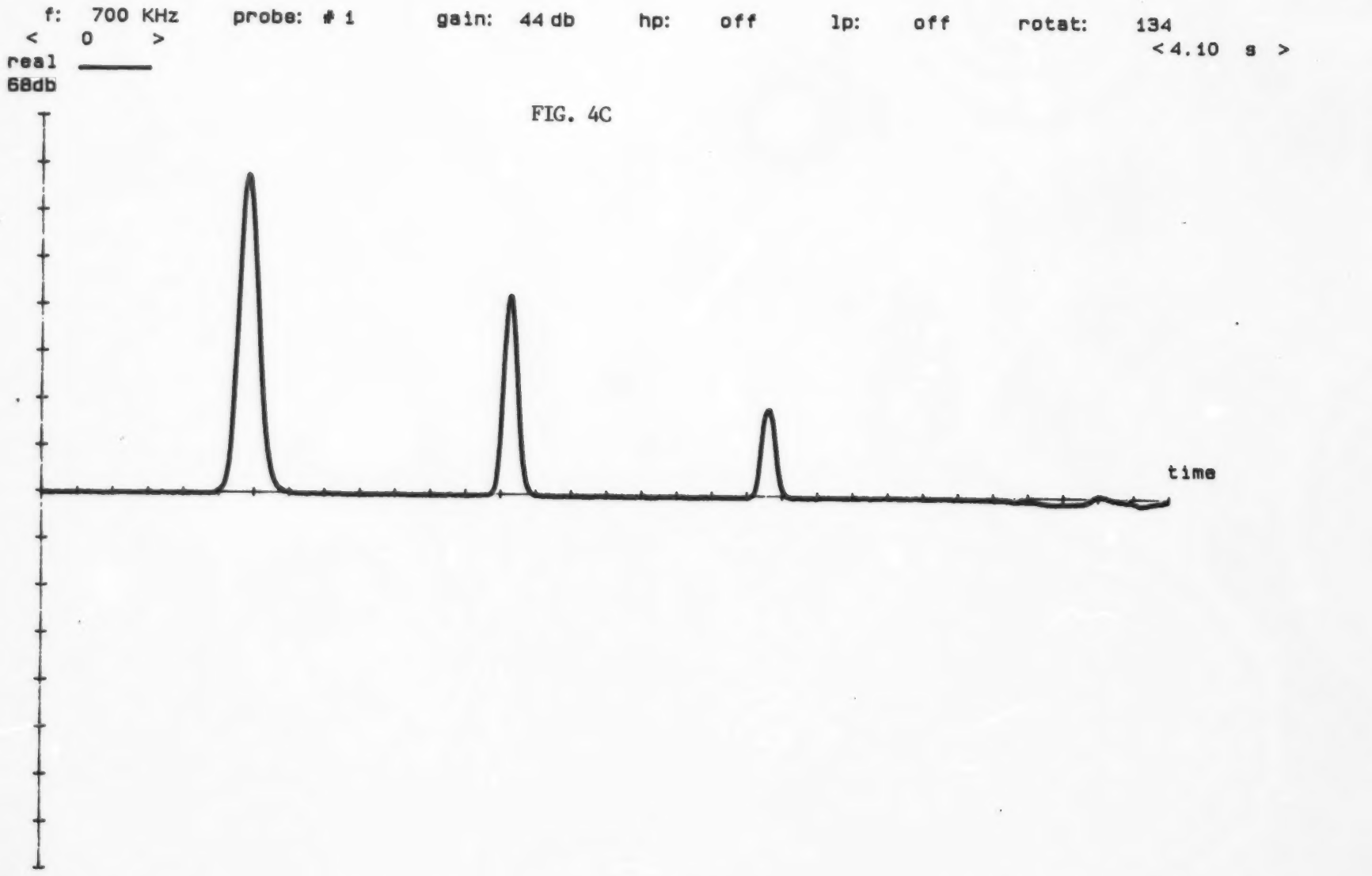


FIG. 4C

TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec. P.Q. Canada — G2E 5G5
Tél. (418) 871-3505
Telex 051-31679

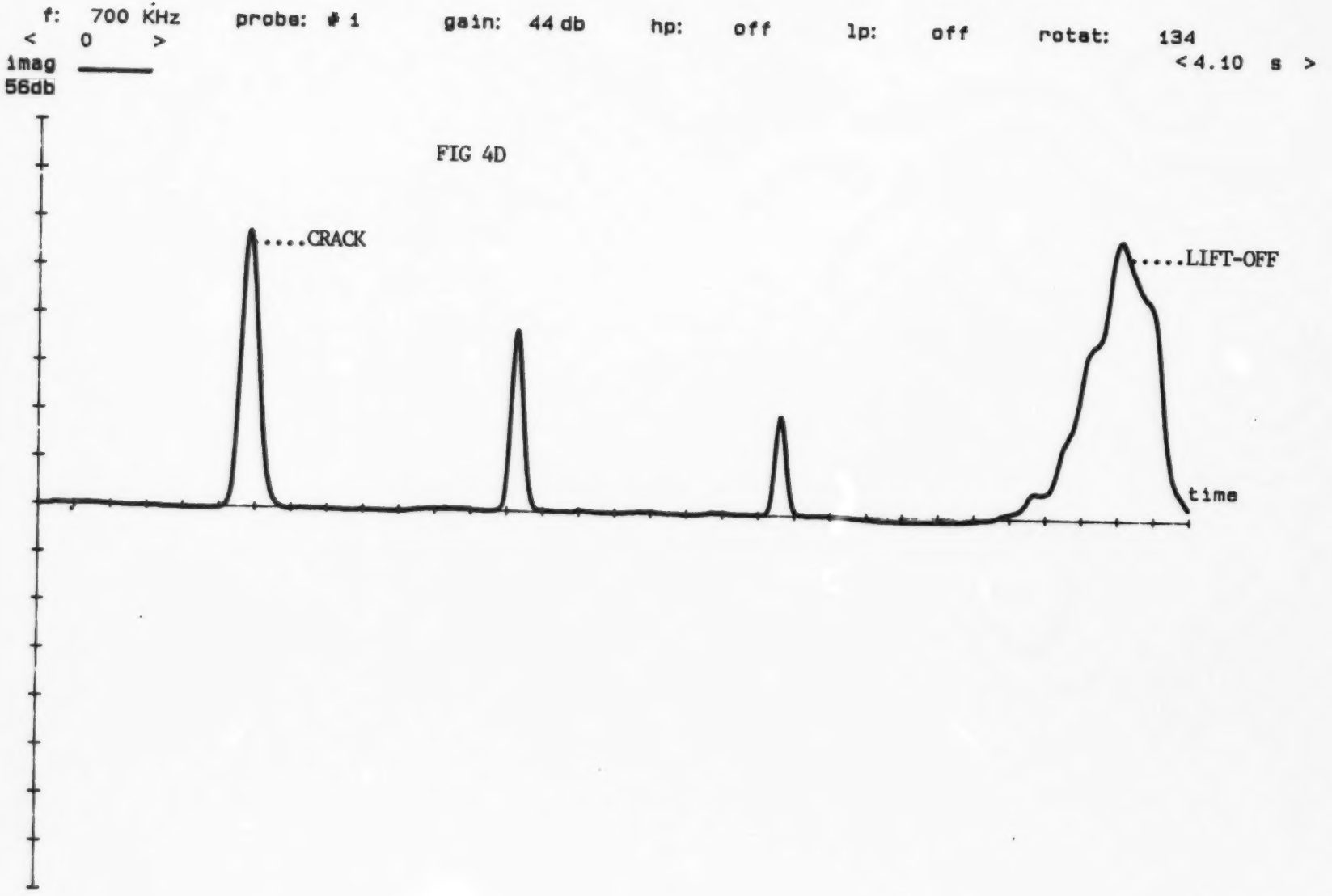


FIG 4D

TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Quebec, PQ Canada – G2E 5G5
Tél (418) 871-3505
Télex 051-31679

f: 400 KHz probe: # 1 gain: 41 db hp: off lp: off rotat: 124

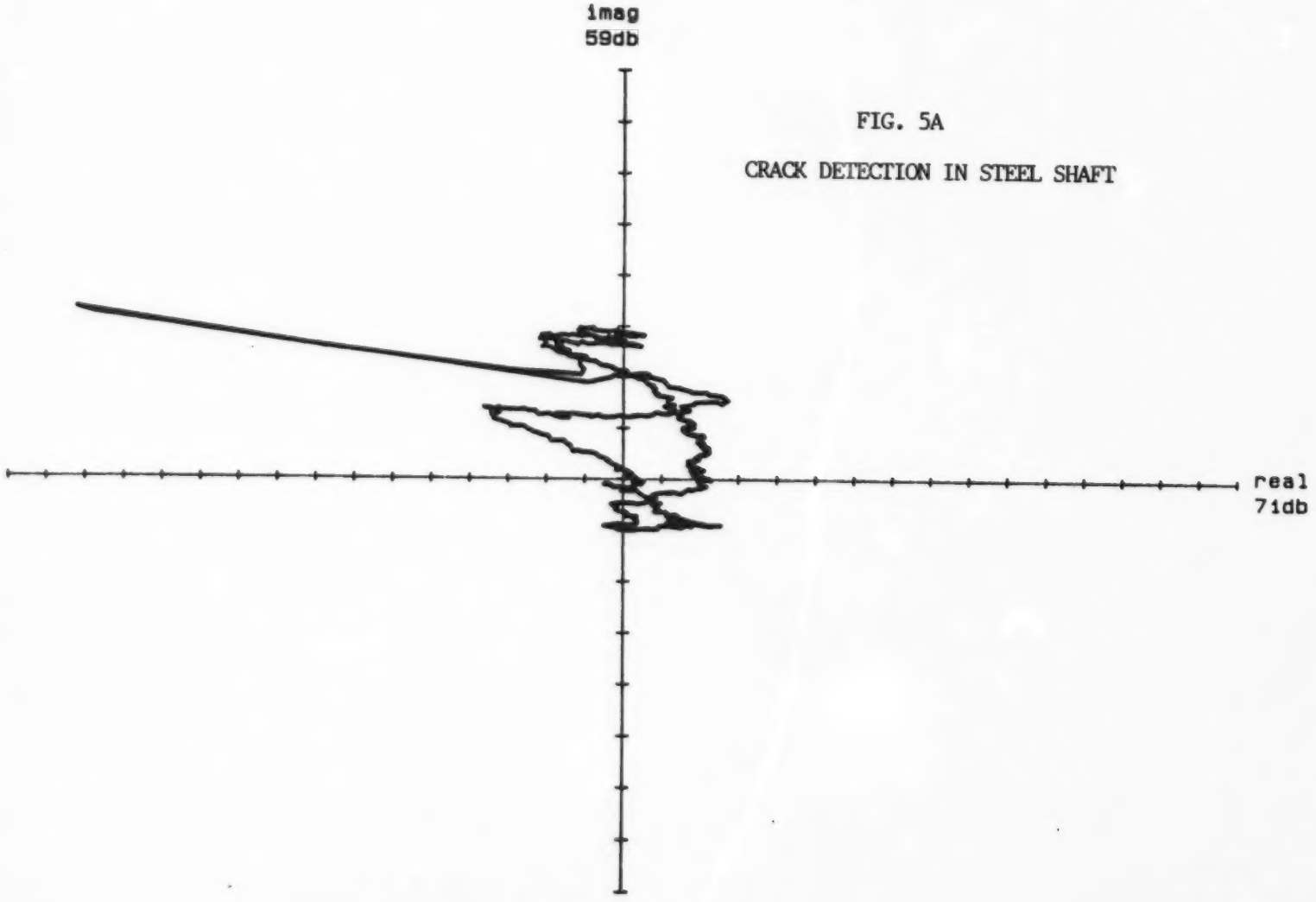


FIG. 5A

CRACK DETECTION IN STEEL SHAFT

TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada – G2E 5G5
Tél. (418) 871-3505
Telex 051-31679

f: 400 KHz probe: # 1 gain: 41 db hp: off lp: off rotat: 124

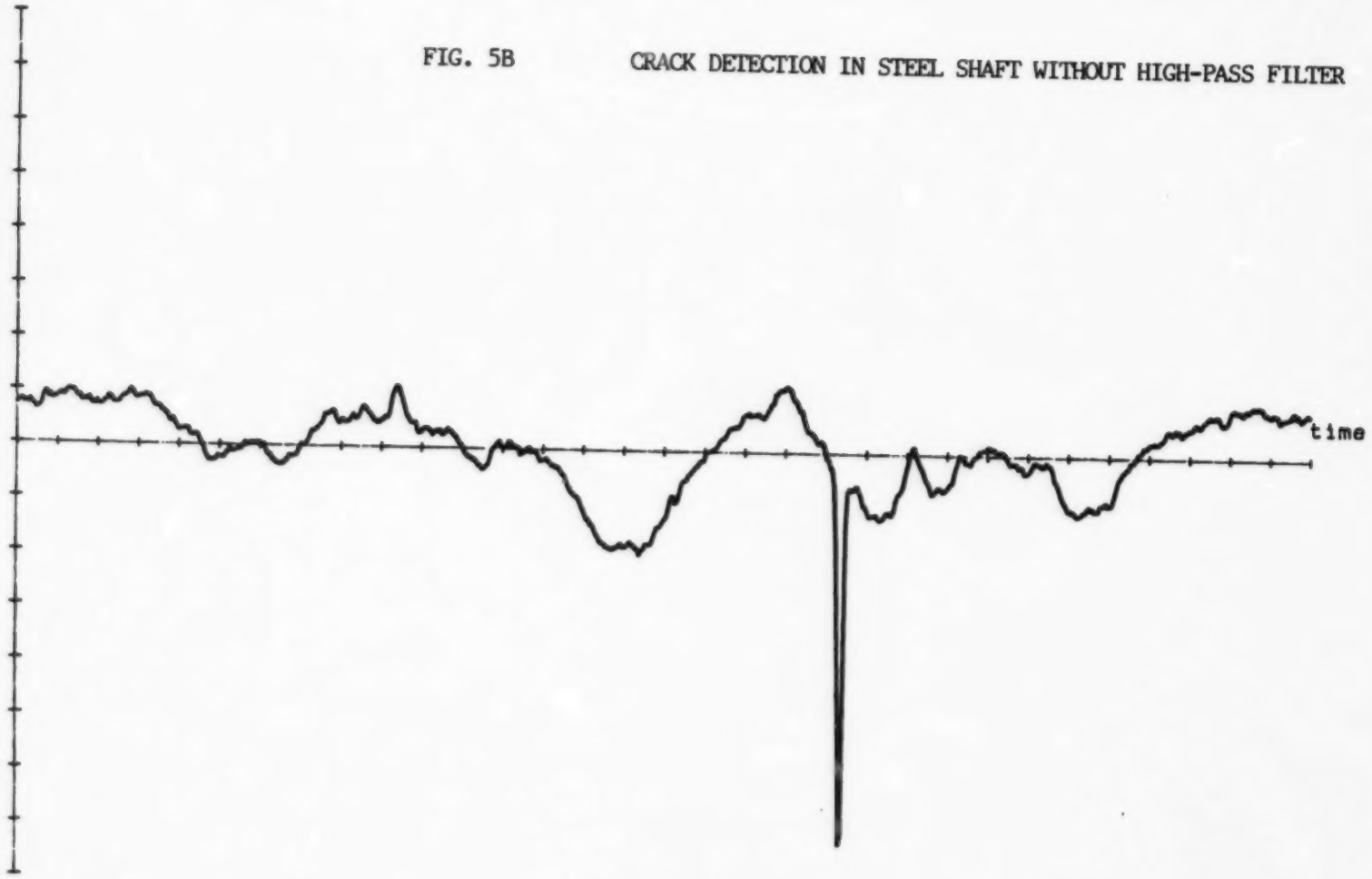
< 0 >

real

71db

< 1.90 s >

FIG. 5B CRACK DETECTION IN STEEL SHAFT WITHOUT HIGH-PASS FILTER



TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Quebec P.Q Canada – G2E 5G5
Tel (418) 871-3505
Telex 051-31679

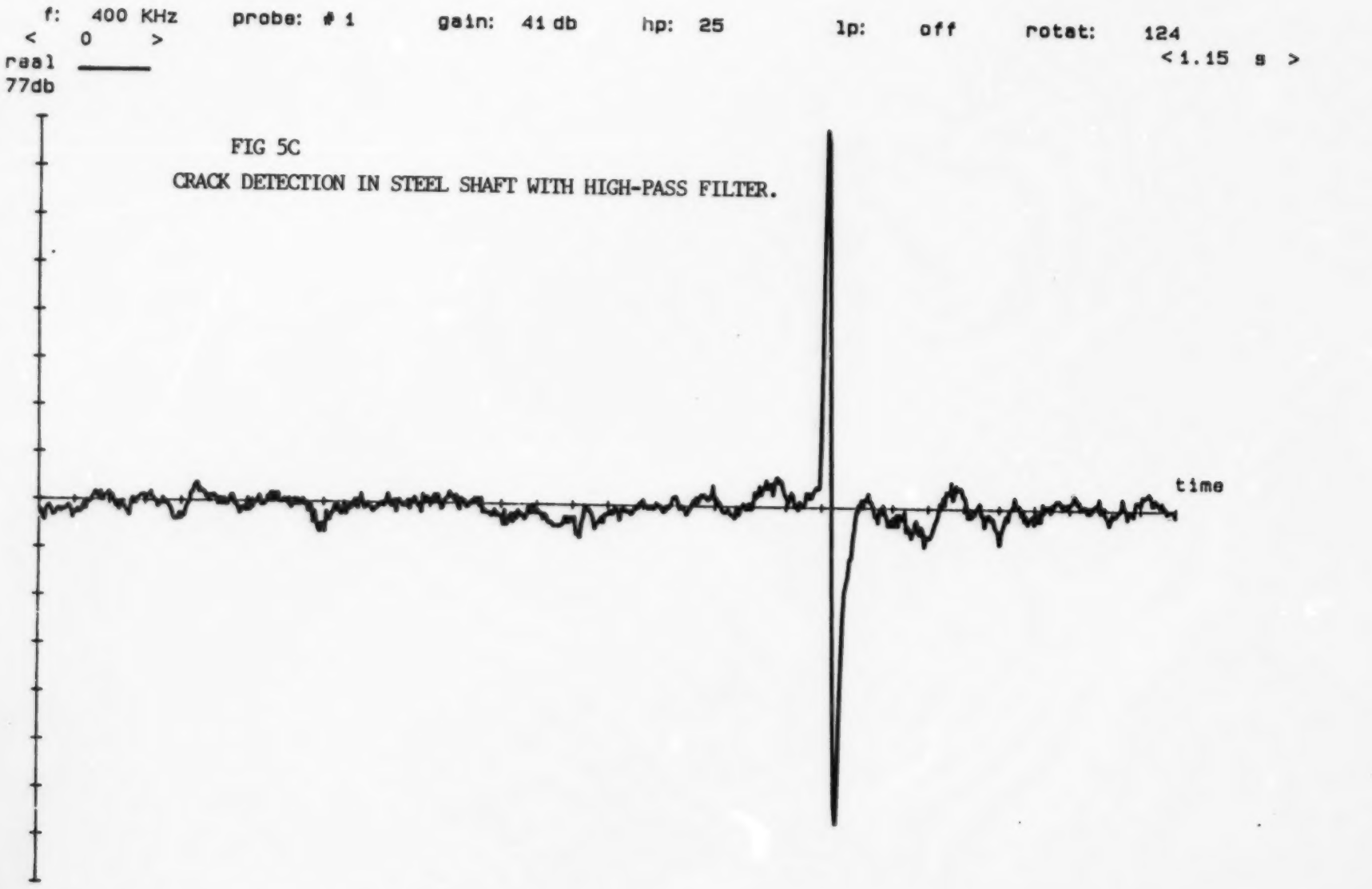


FIG 5C

CRACK DETECTION IN STEEL SHAFT WITH HIGH-PASS FILTER.

TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada – G2E 5G5
Tél: (418) 871-3505
Télex 051-31679

f: 20.0 KHz probe: # 1 gain: 50 db hp: off lp: off rotat: 323

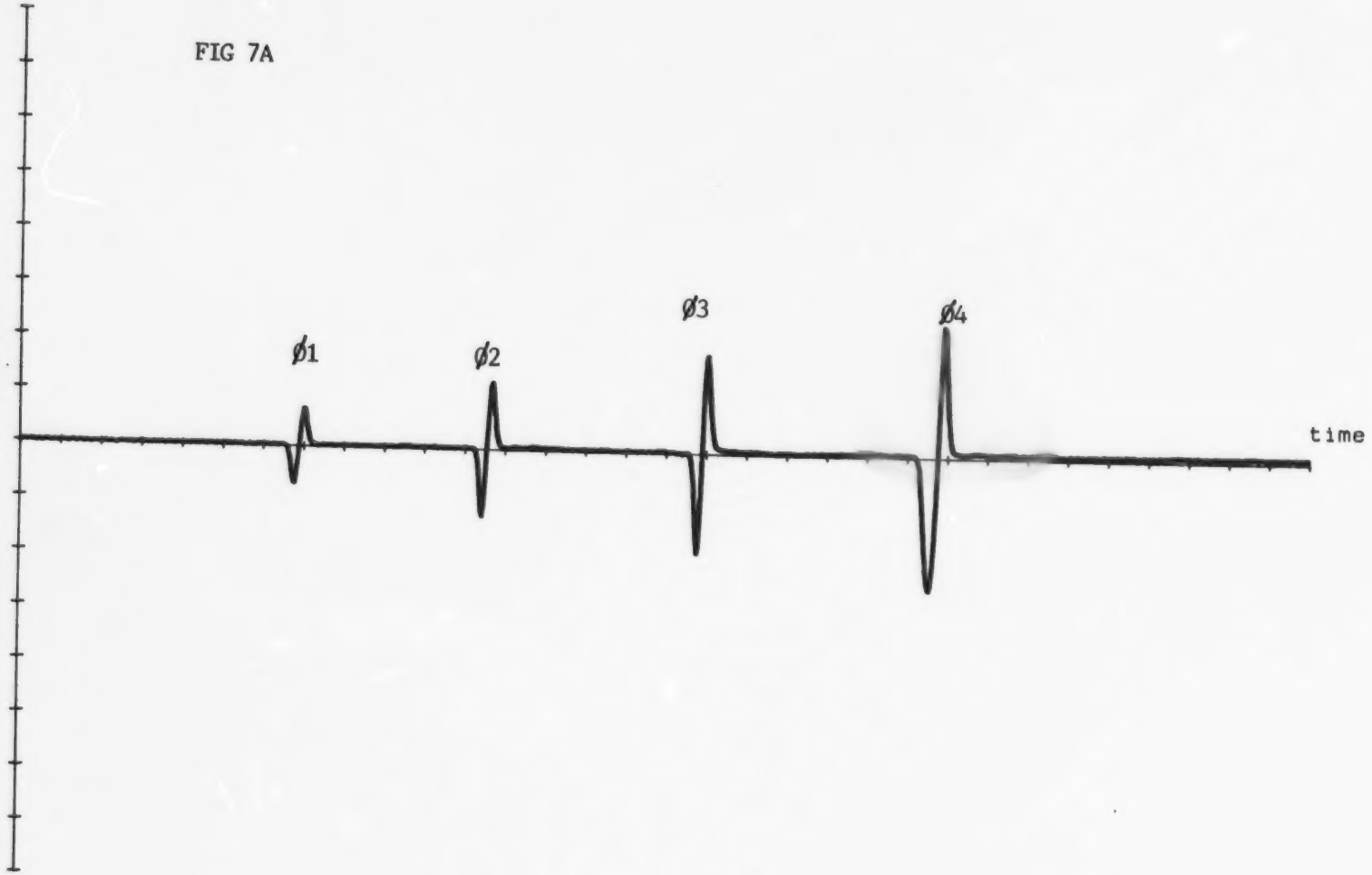
< 0 >

real

74db

<5.00 s >

FIG 7A



TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Quebec, P.Q. Canada — G2E 5G5
Tél. (418) 871-3505
Telex 051-31679

f: probe: # 1 gain: 50 db hp: off lp: off rotat: 0

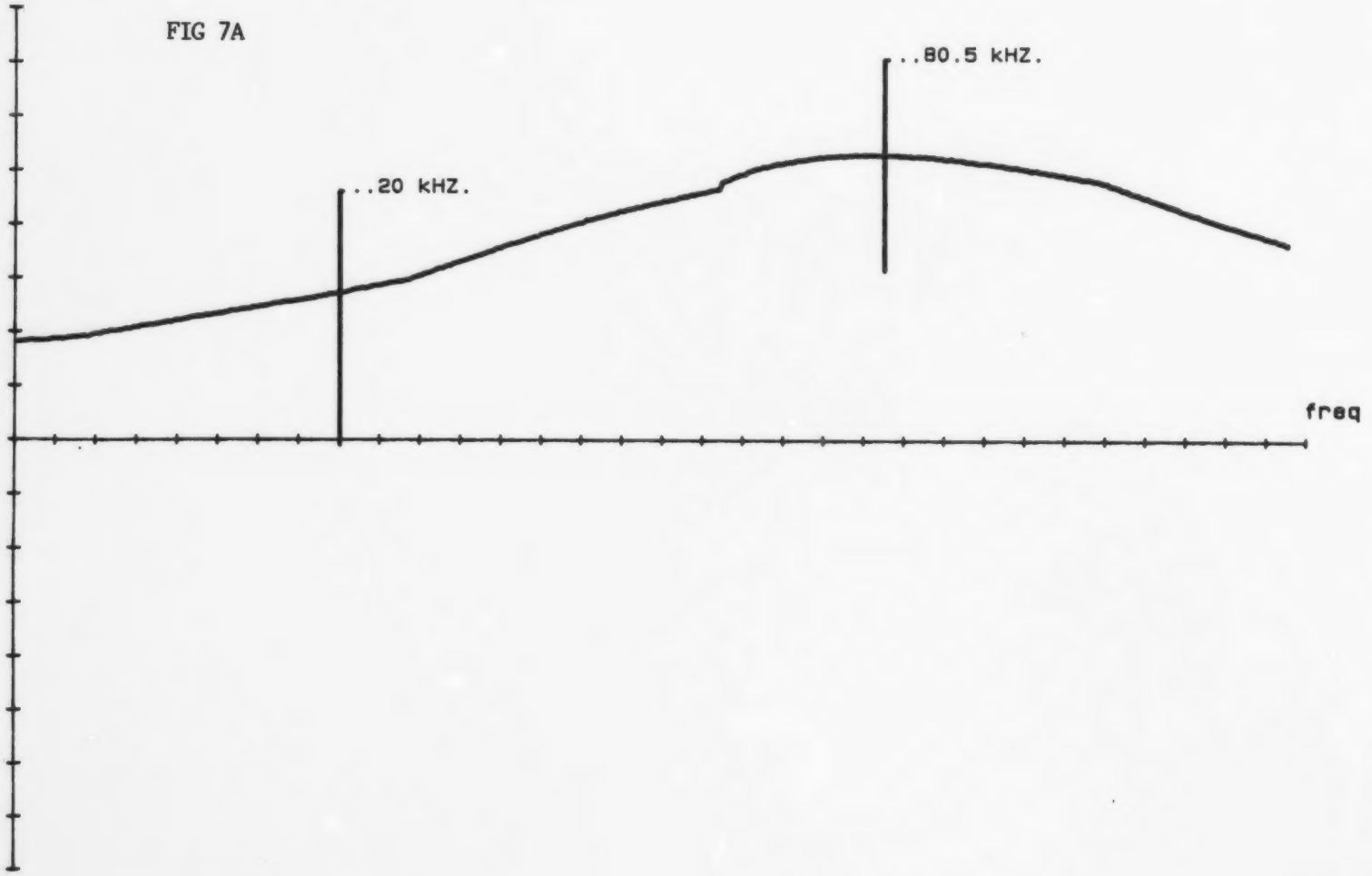
< 11.0 KHz >

< 200 KHz >

ampl

74db

FIG 7A



TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada — G2E 5G5
Tel: (418) 871-3505
Télex 051-31679

f: 80.5 KHz probe: # 1 gain: 50 db hp: off lp: off rotat: 13

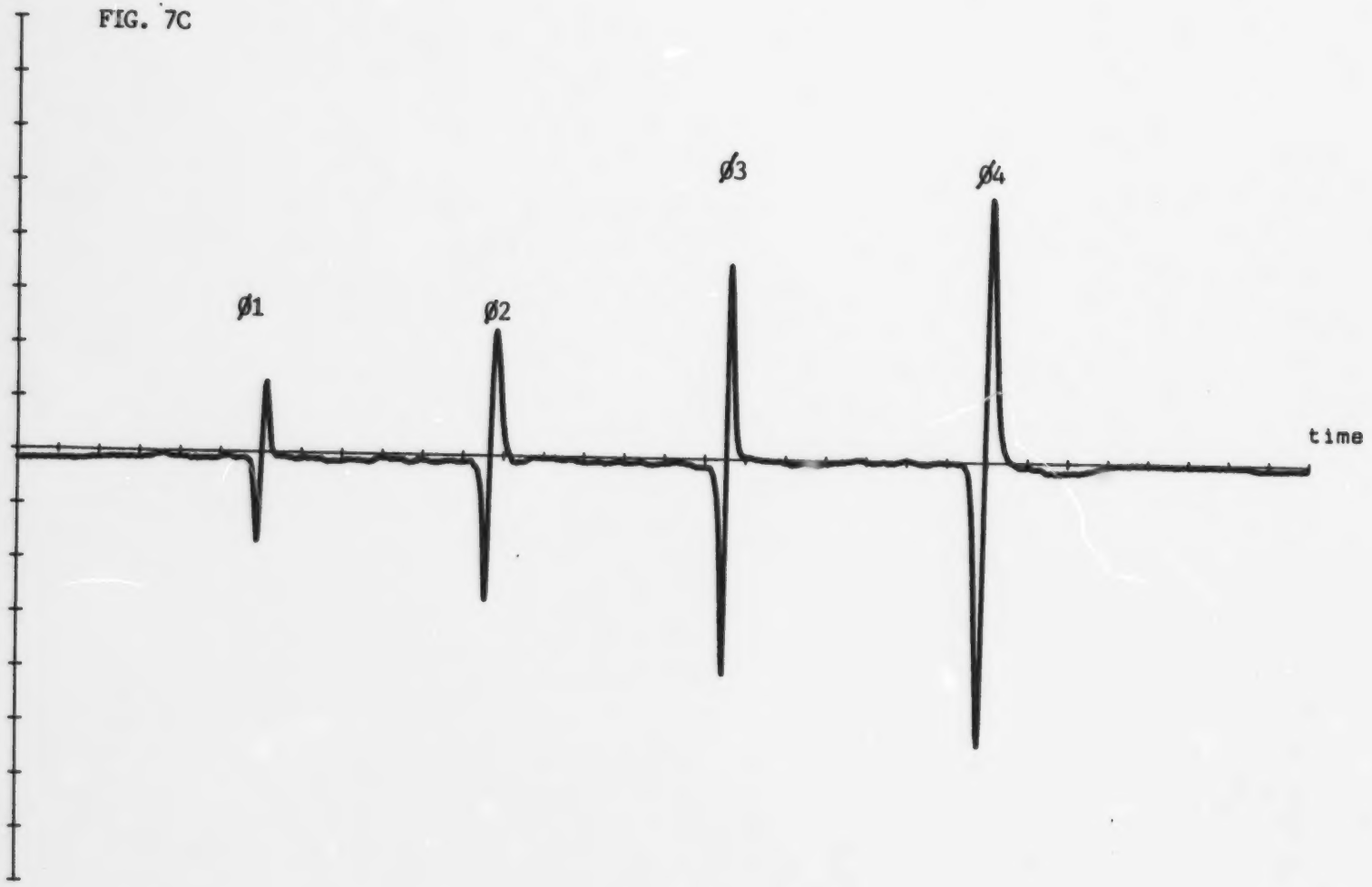
< 0 >

real

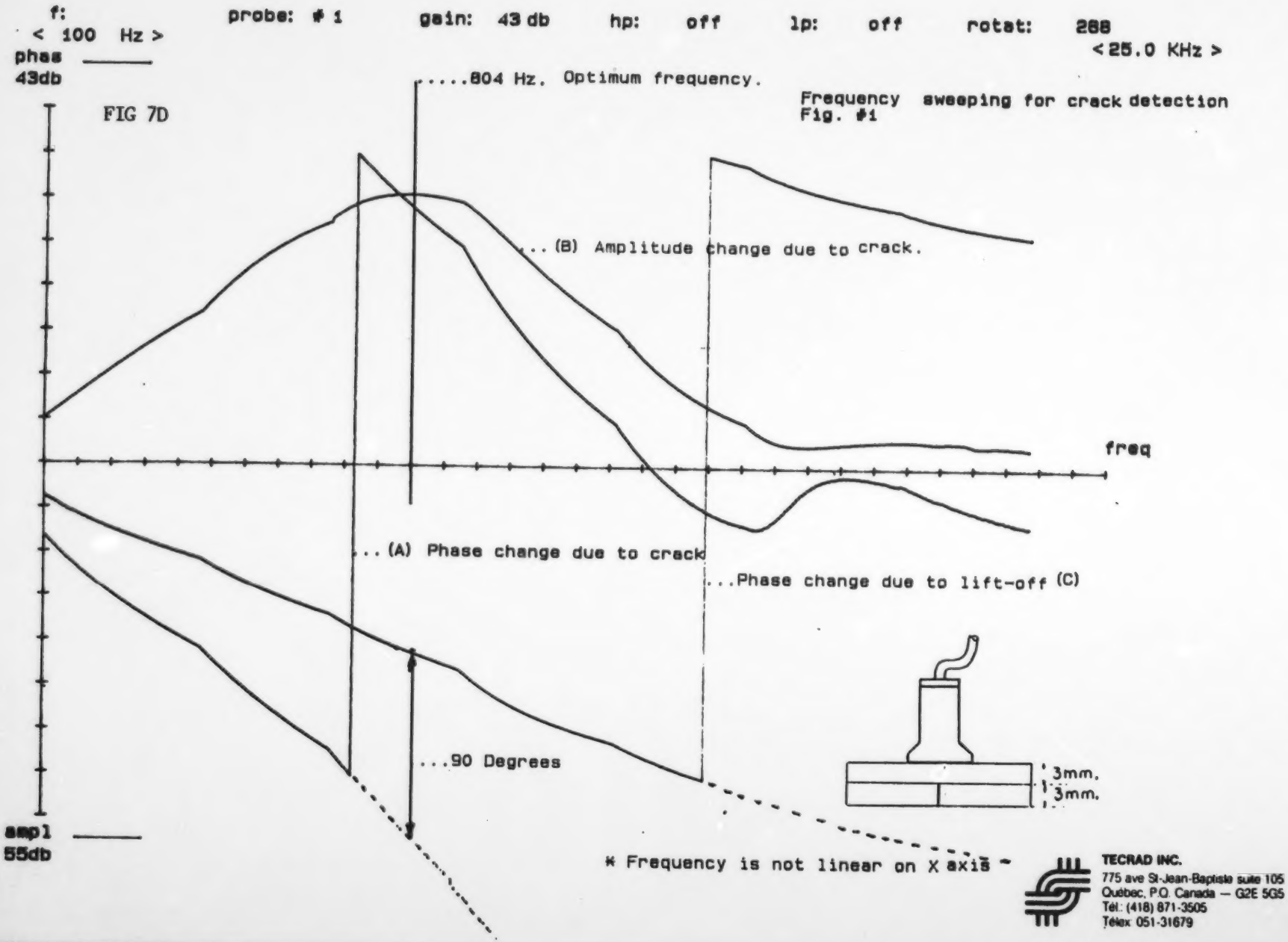
74db

<5.10 s >

FIG. 7C



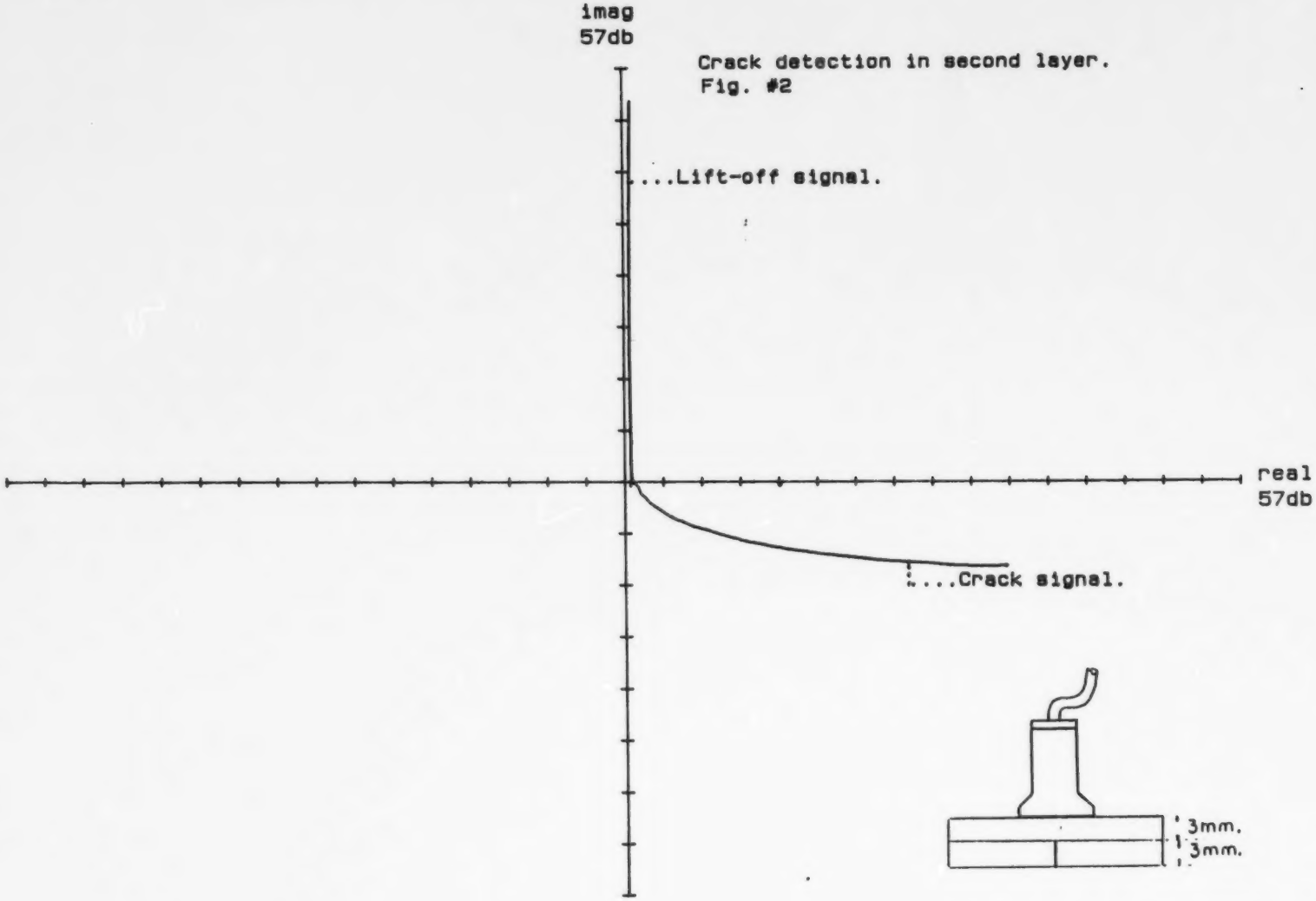
TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada – G2E 5G5
Tél: (418) 871-3505
Télex: 051-31679



TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada — G2E 5G5
Tél.: (418) 871-3505
Télex: 051-31679

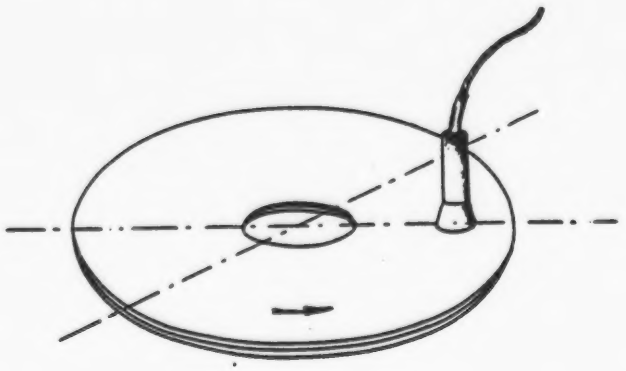
f: 804 Hz prb/box: 1/1 gain: 45 db hp: off lp: off rotat: 193

FIG. 7E



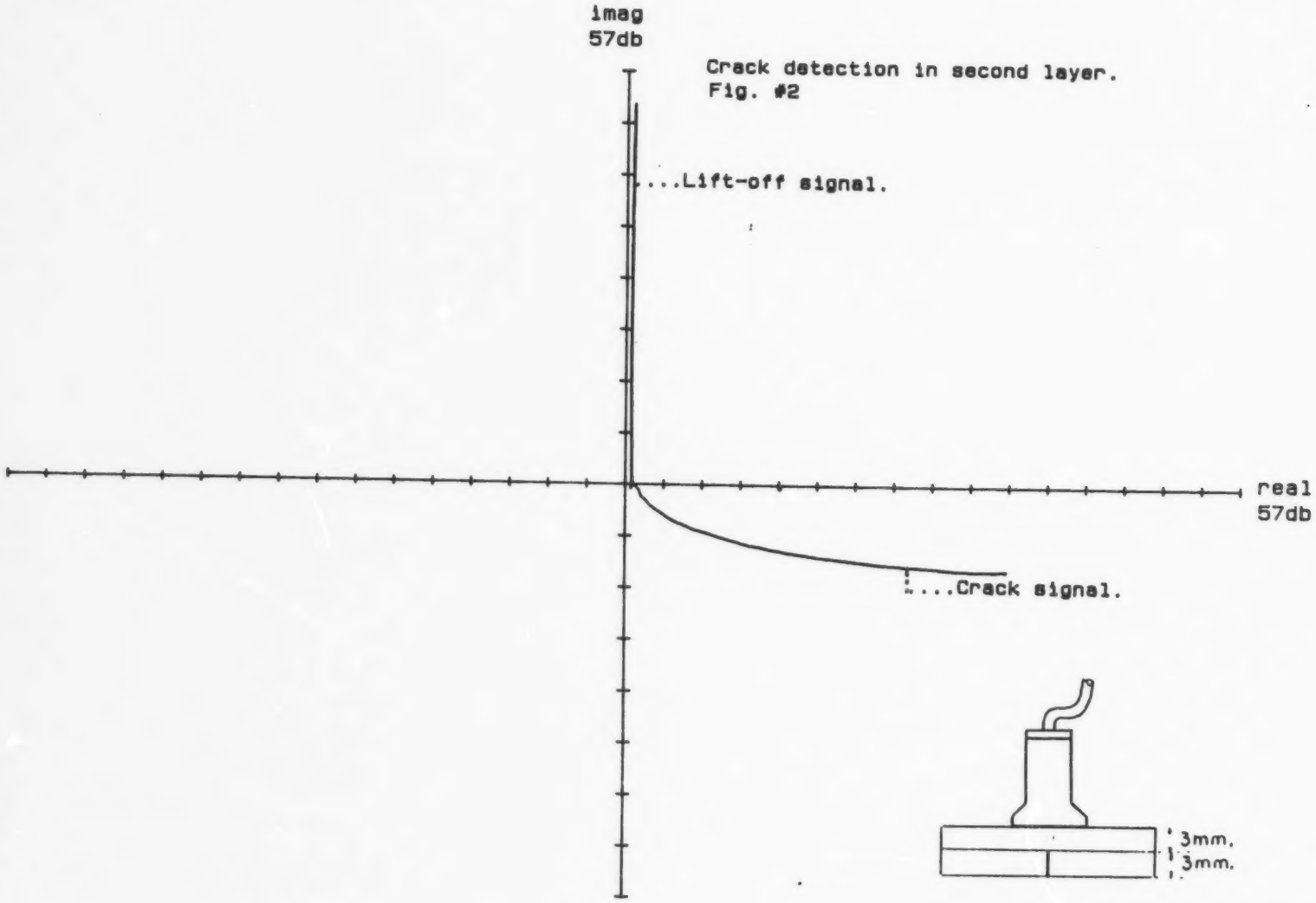
TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada — G2E 5G5
Tél.: (418) 871-3505
Télex: 051-31679

FIG 7F



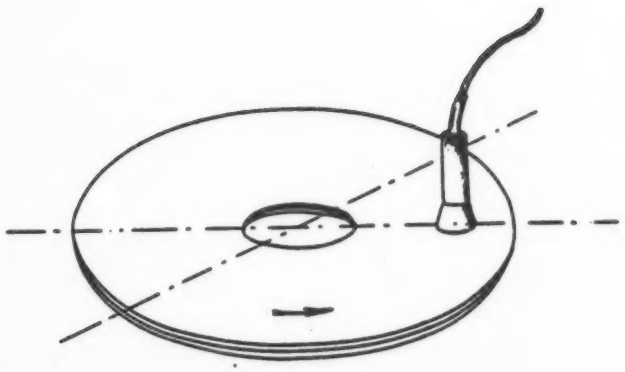
f: 804 Hz prb/box: 1/1 gain: 45 db hp: off lp: off rotat: 193

FIG. 7E



TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada — G2E 5G5
Tél: (418) 871-3505
Télex: 051-31679

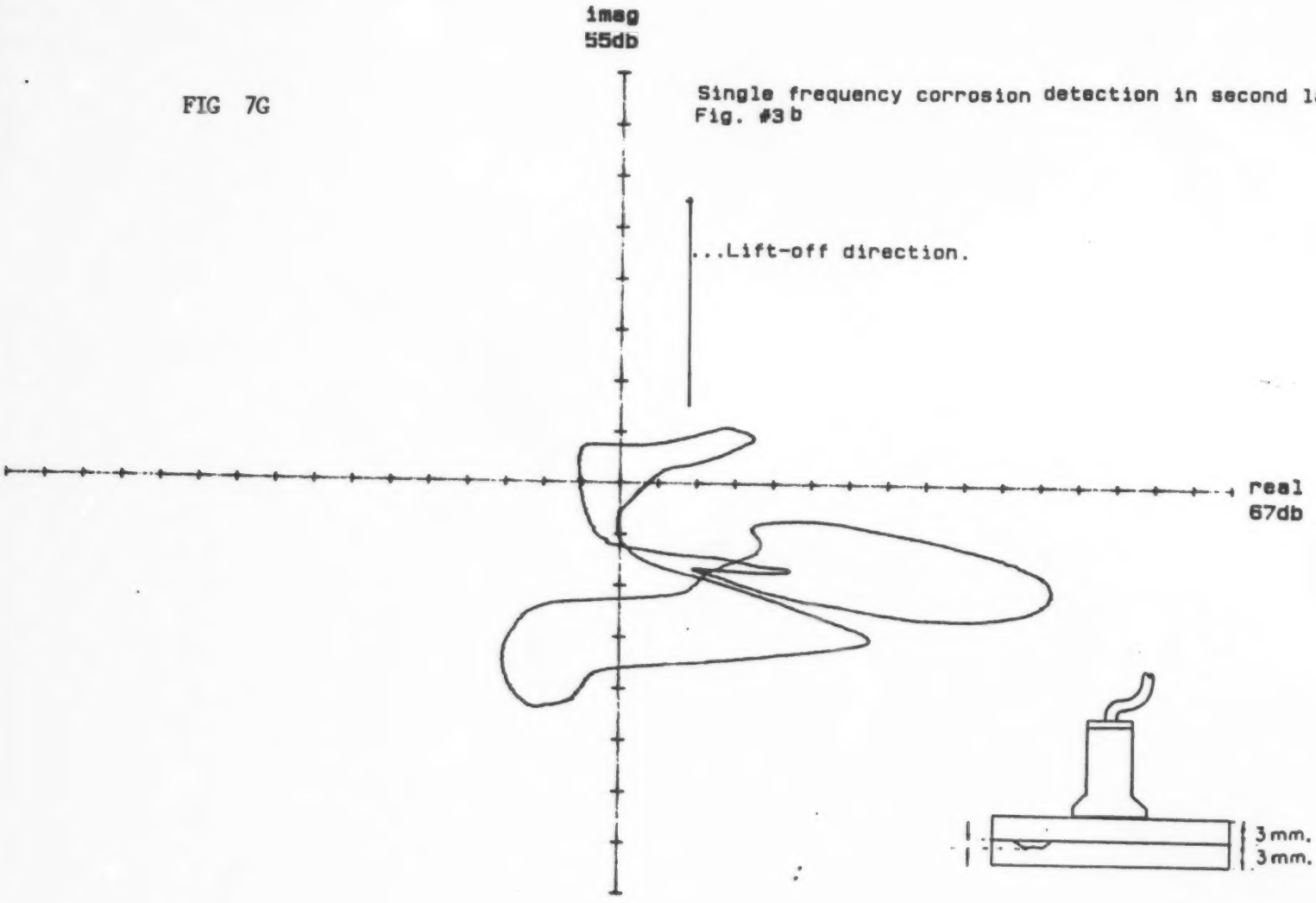
FIG 7F



f: 1.40 KHz prb/box: 1/1 gain: 43 db hp: off lp: off rotat: 217

FIG 7G

Single frequency corrosion detection in second layer.
Fig. #3 b



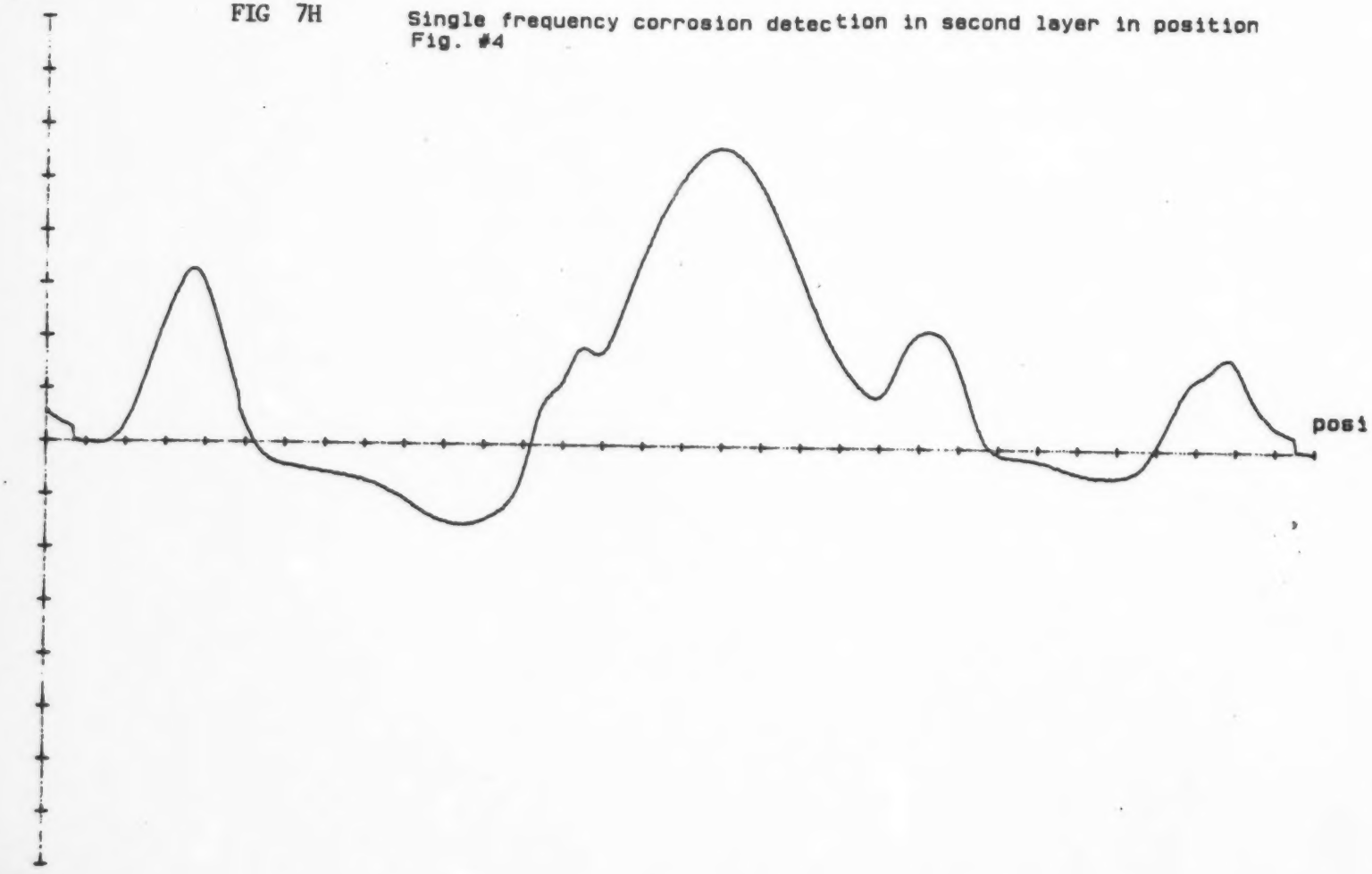
TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada — G2E 5G5
Tél. (418) 871-3505
Télex 051-31679

f: 1.40 KHz prb/box: 1/1 gain: 43 db hp: off lp: off rotat: 217

< 0 >
real
67db

< 804 >

FIG 7H Single frequency corrosion detection in second layer in position Fig. #4



TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada — G2E 5G5
Tél: (418) 871-3505
Télex: 051-31679

f: prb/box: 1/0 gain: 40 db hp: off lp: off rotat: 217

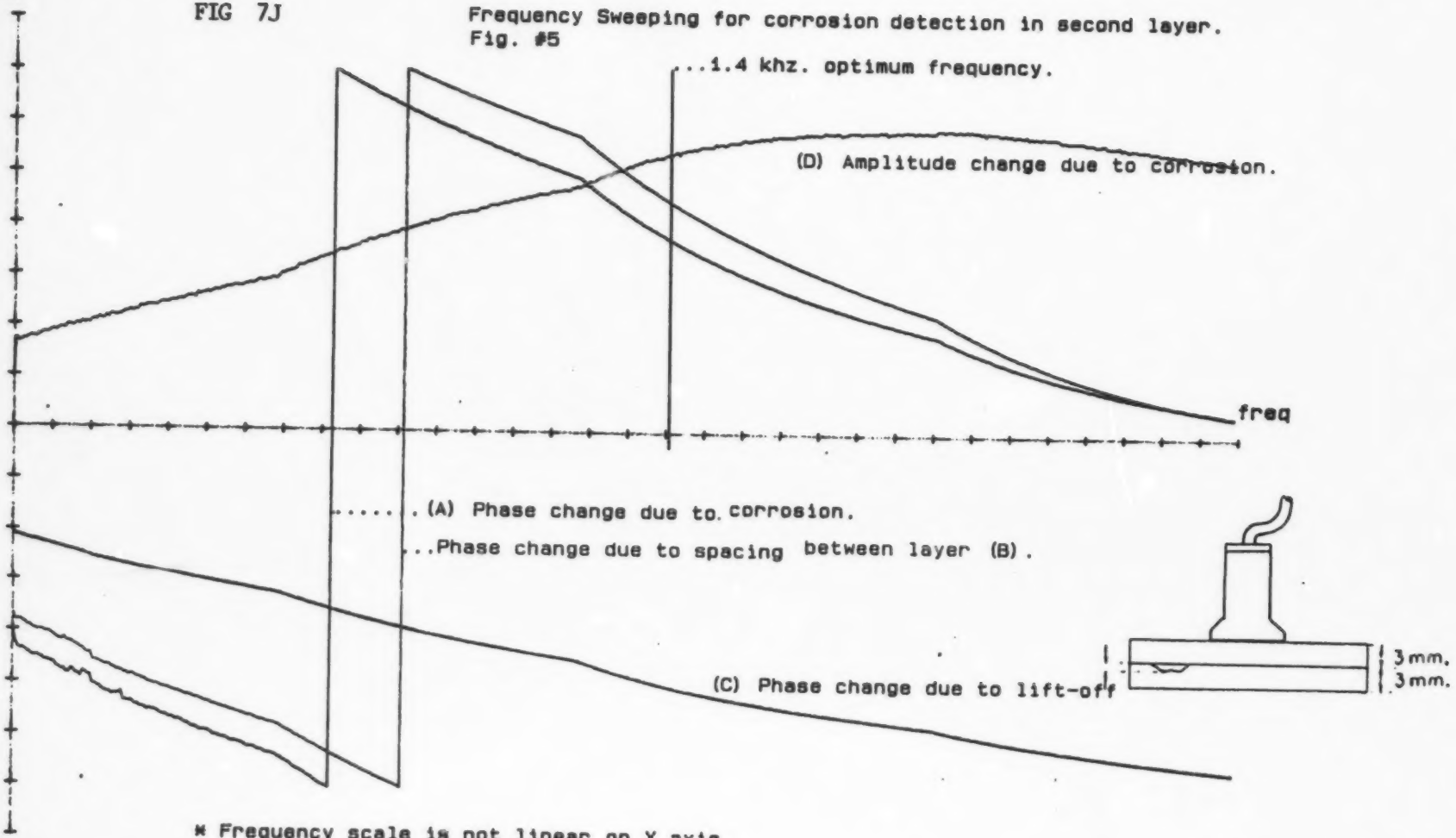
< 280 Hz >

<5.00 KHz >

ampl
70db

FIG 7J

Frequency Sweeping for corrosion detection in second layer.
Fig. #5



* Frequency scale is not linear on X axis.

phas
40db

TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada — G2E 5G5
Tél: (418) 871-3505
Télex: 051-31679

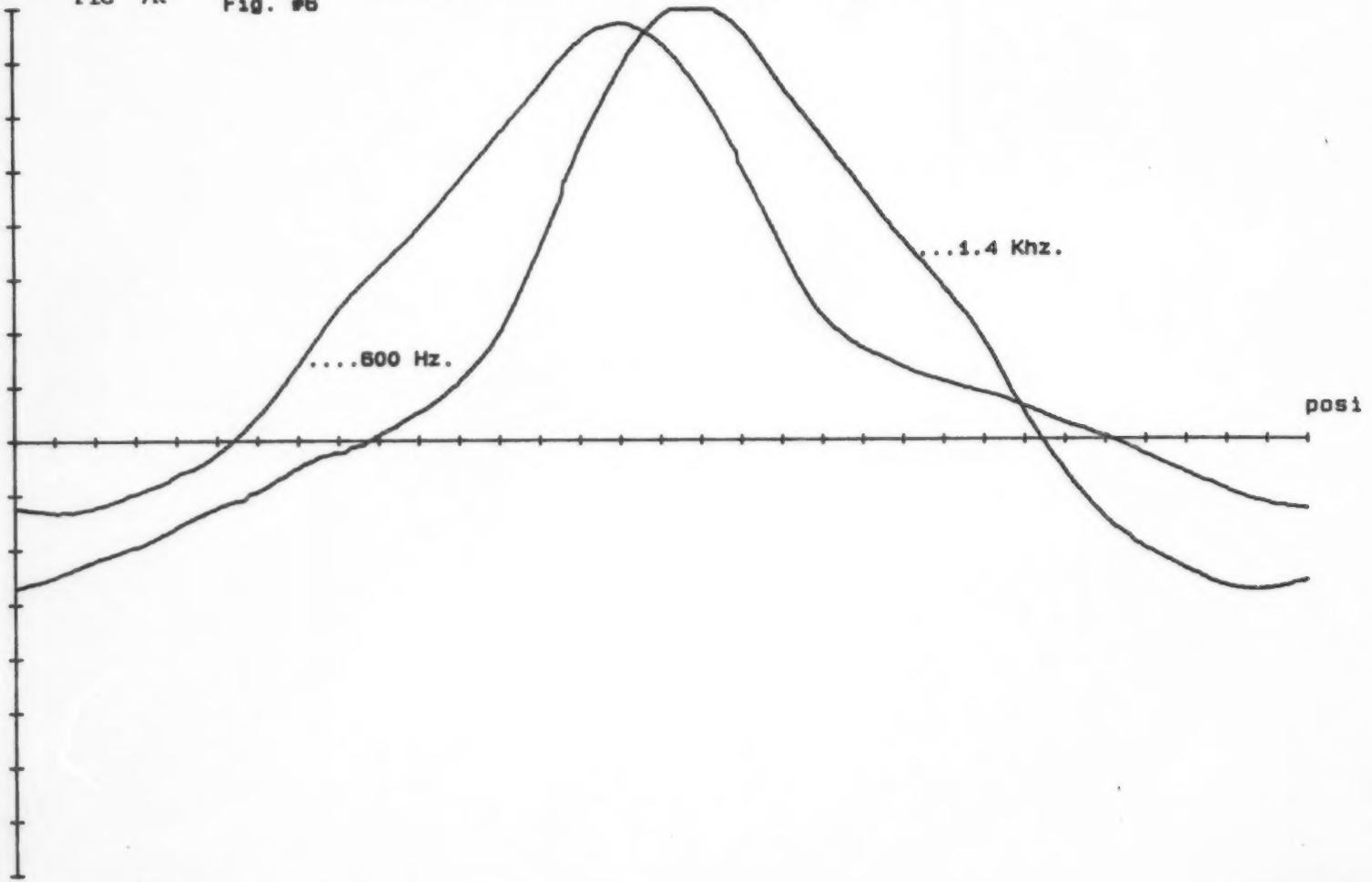
f: 1.40 KHz prb/box: 1/2 gain: 43 db hp: off lp: off rotat: 219

< 0 > < 804 >

real
67db

FIG 7K

Effect of spacing between layers in single frequency.
Fig. #6



TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada – G2E 5G5
Tél: (418) 871-3505
Télex: 051-31679

f: 1.40 KHz prb/box: 1/1 gain: 43 db hp: off lp: off rotat: 37

f: 600 Hz prb/box: 1/2 gain: 45 db hp: off lp: off rotat: 37

< 0 >

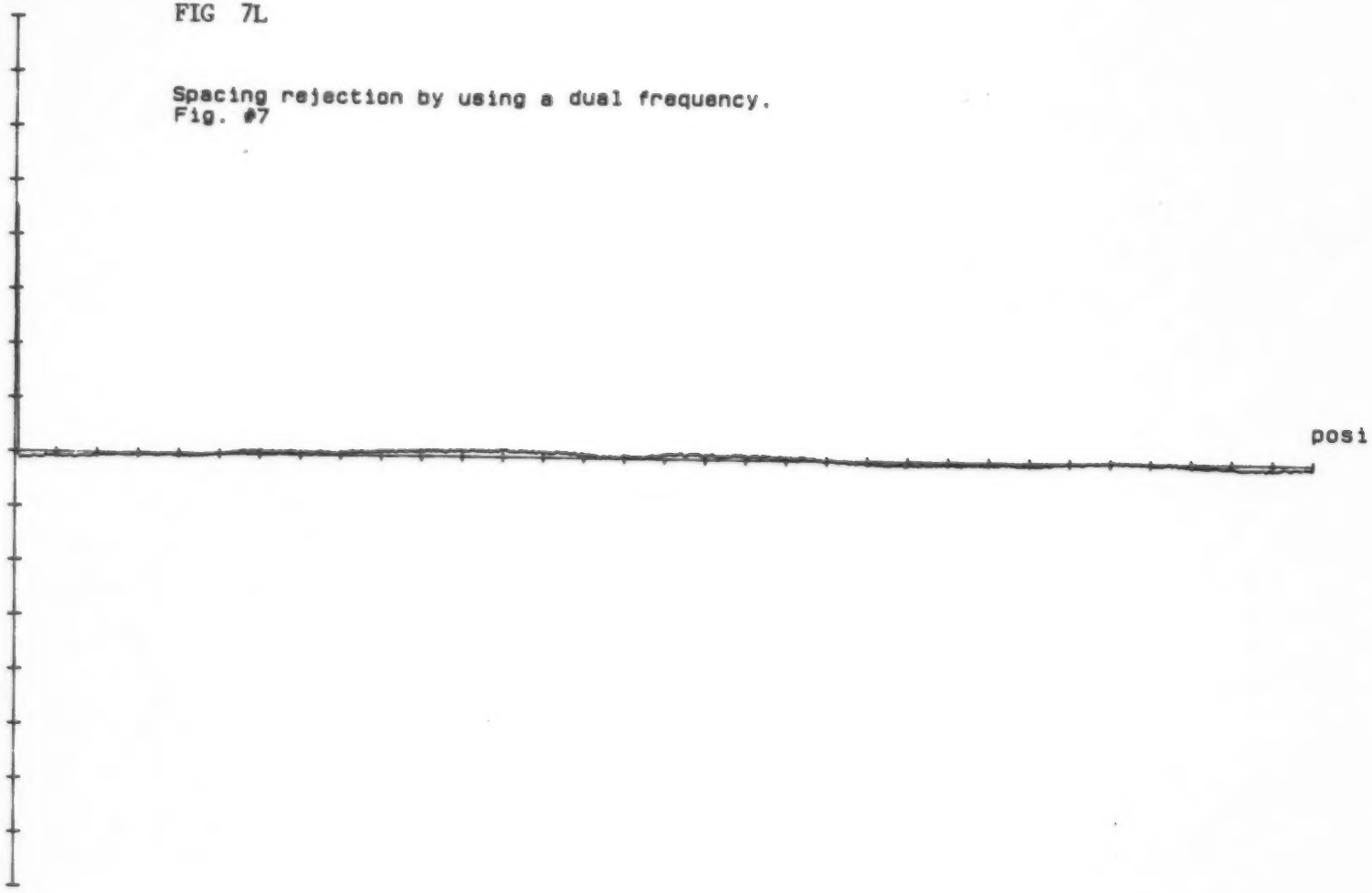
< 804 >

real

69db

FIG 7L

Spacing rejection by using a dual frequency.
Fig. #7



TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada — G2E 5G5
Tél: (418) 871-3505
Télex: 051-31679

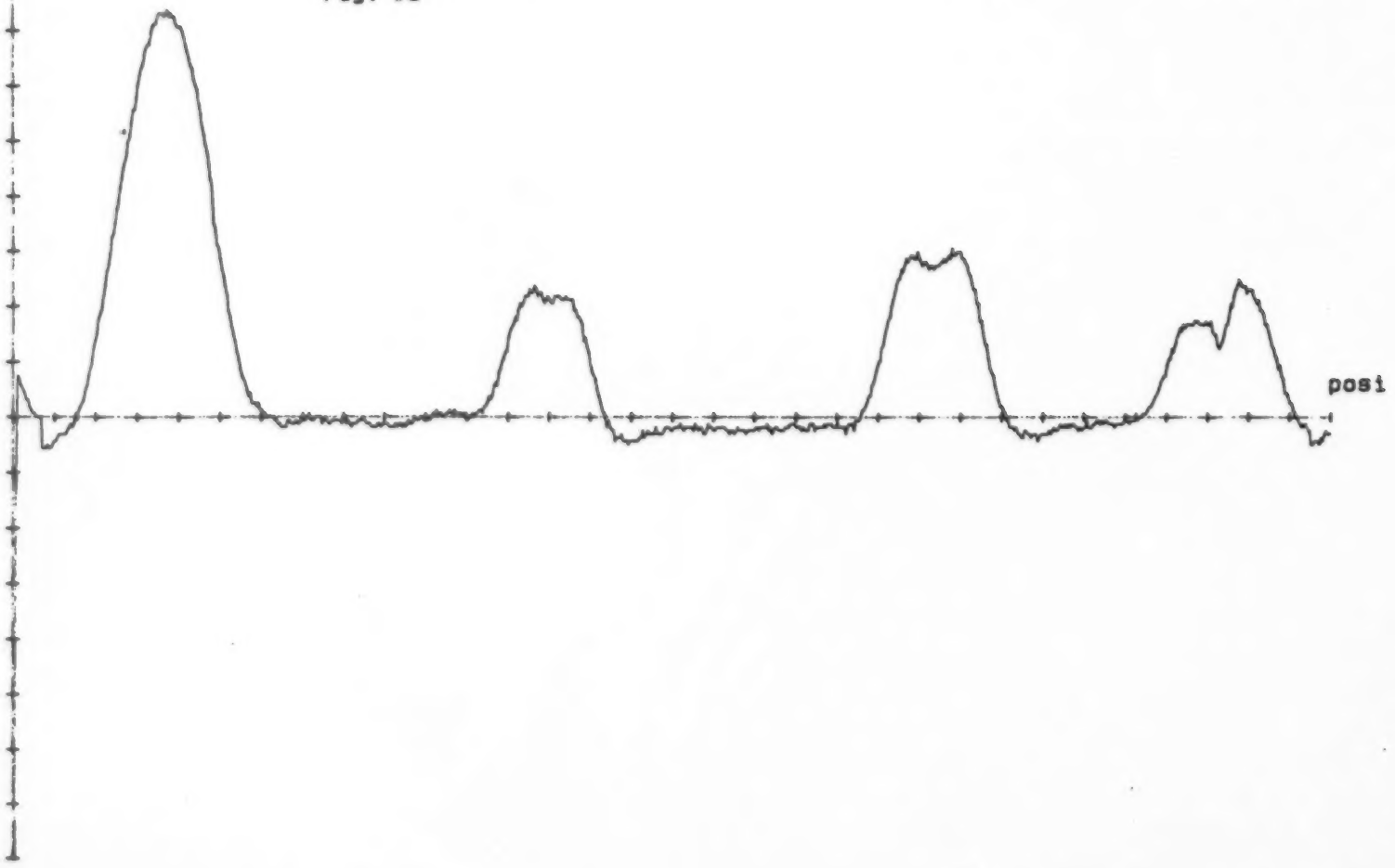
f: 600 Hz prb/box: 1/1 gain: 45 db hp: off lp: off rotat: 205

f: 1.40 KHz prb/box: 1/2 gain: 43 db hp: off lp: off rotat: 205

< 0 > < 804 >

real
79db

FIG 7M Detection of corrosion with no contribution of spacing using dual frequency.
Fig. #8



TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada — G2E 5G5
Tél: (418) 871-3505
Télex: 051-31679

f: 600 Hz prb/box: 1/1 gain: 45 db hp: off lp: off rotat: 205

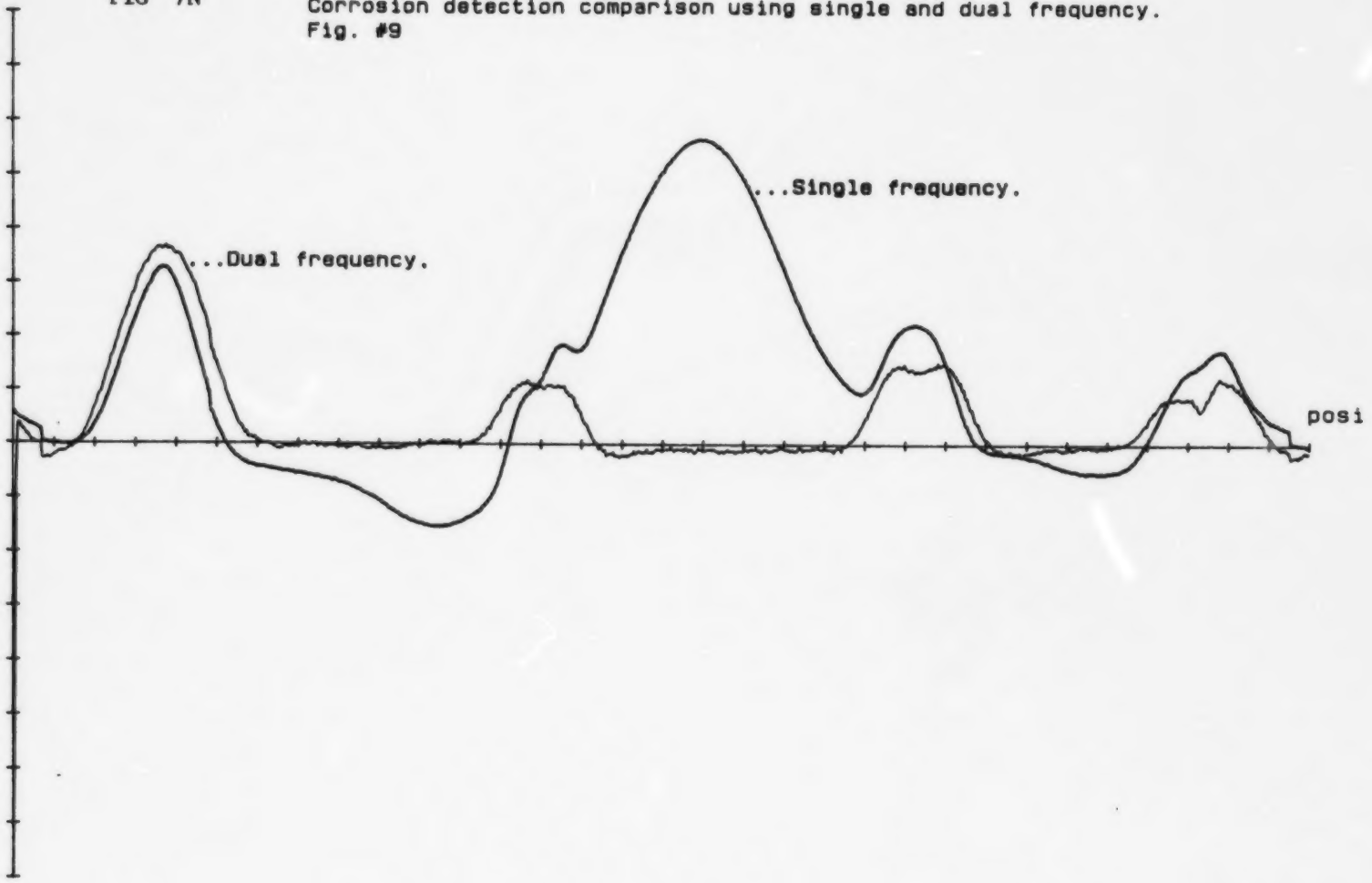
f: 1.40 KHz prb/box: 1/2 gain: 43 db hp: off lp: off rotat: 205

< 0 > < 804 >

real
73db

FIG 7N

Corrosion detection comparison using single and dual frequency.
Fig. #9



TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Quebec, P.Q. Canada — G2E 5G5
Tel (418) 871-3505
Telex 051-31679

f: probe: # 1 gain: 42 db hp: off lp: off rotat: 183

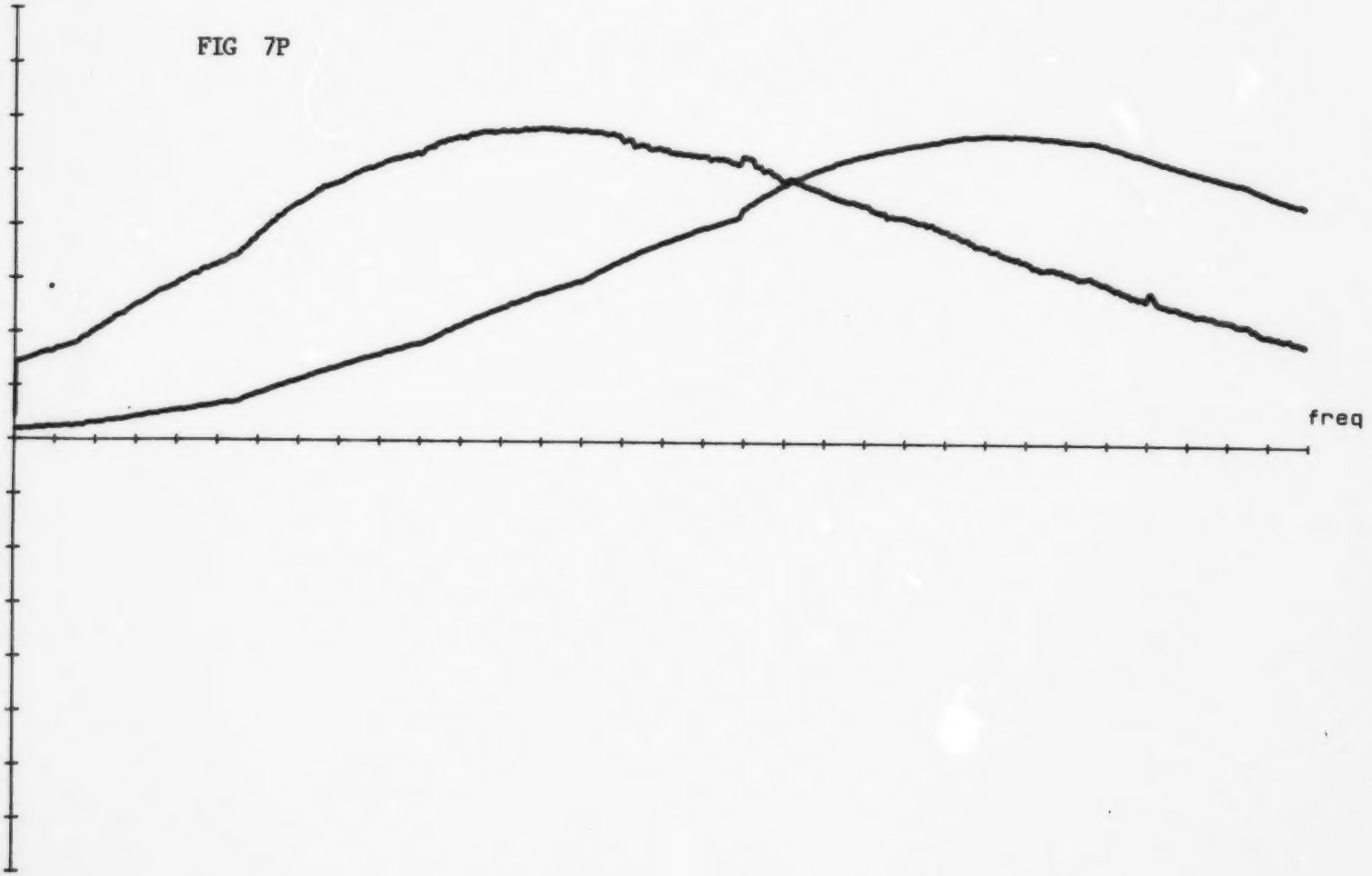
< 2.00 KHz >

< 688 KHz >

ampl

66db

FIG 7P



TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada — G2E 5G5
Tél: (418) 871-3505
Télex: 051-31679

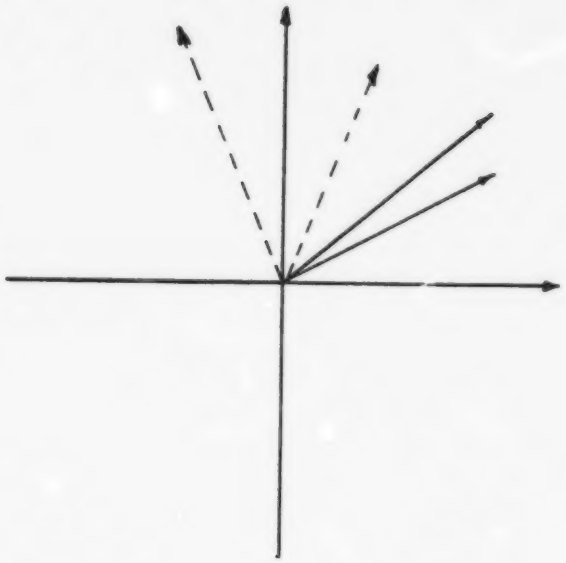


FIG 8A

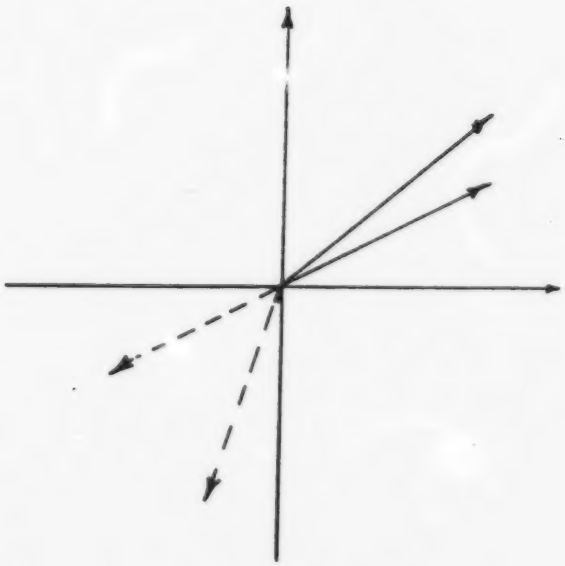


FIG 8B

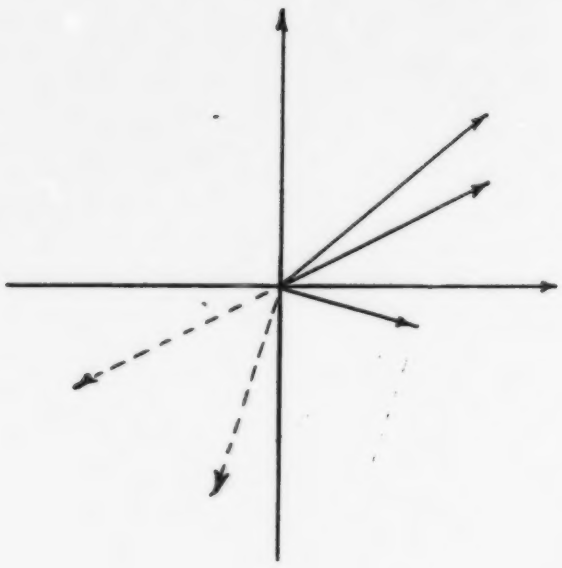
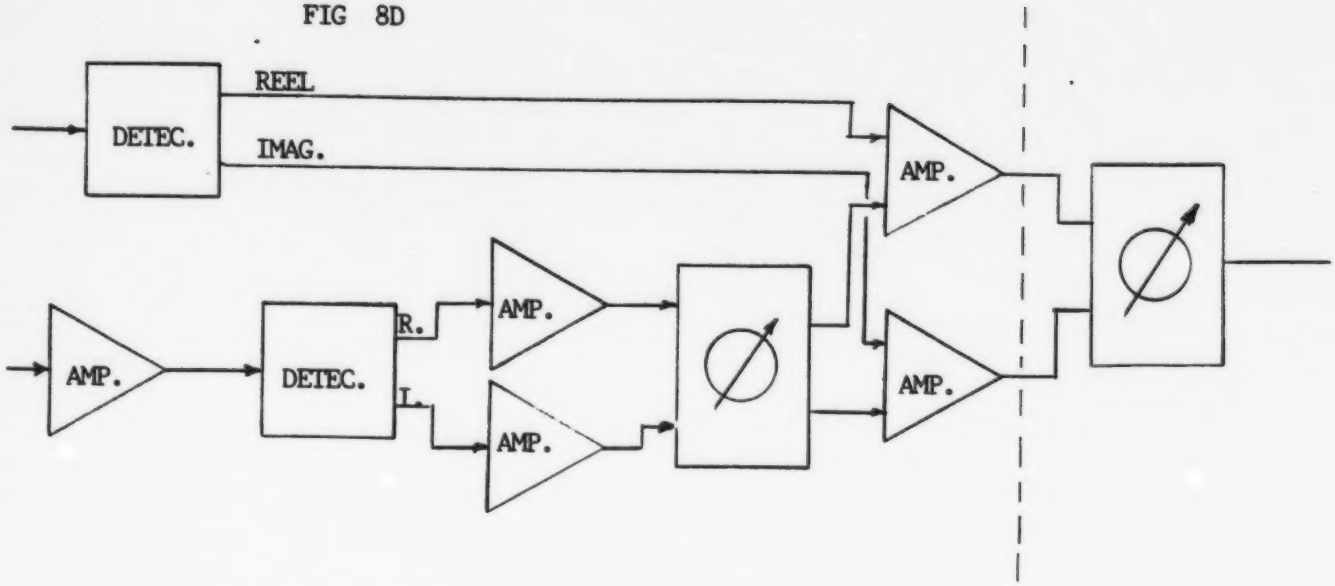


FIG 8C

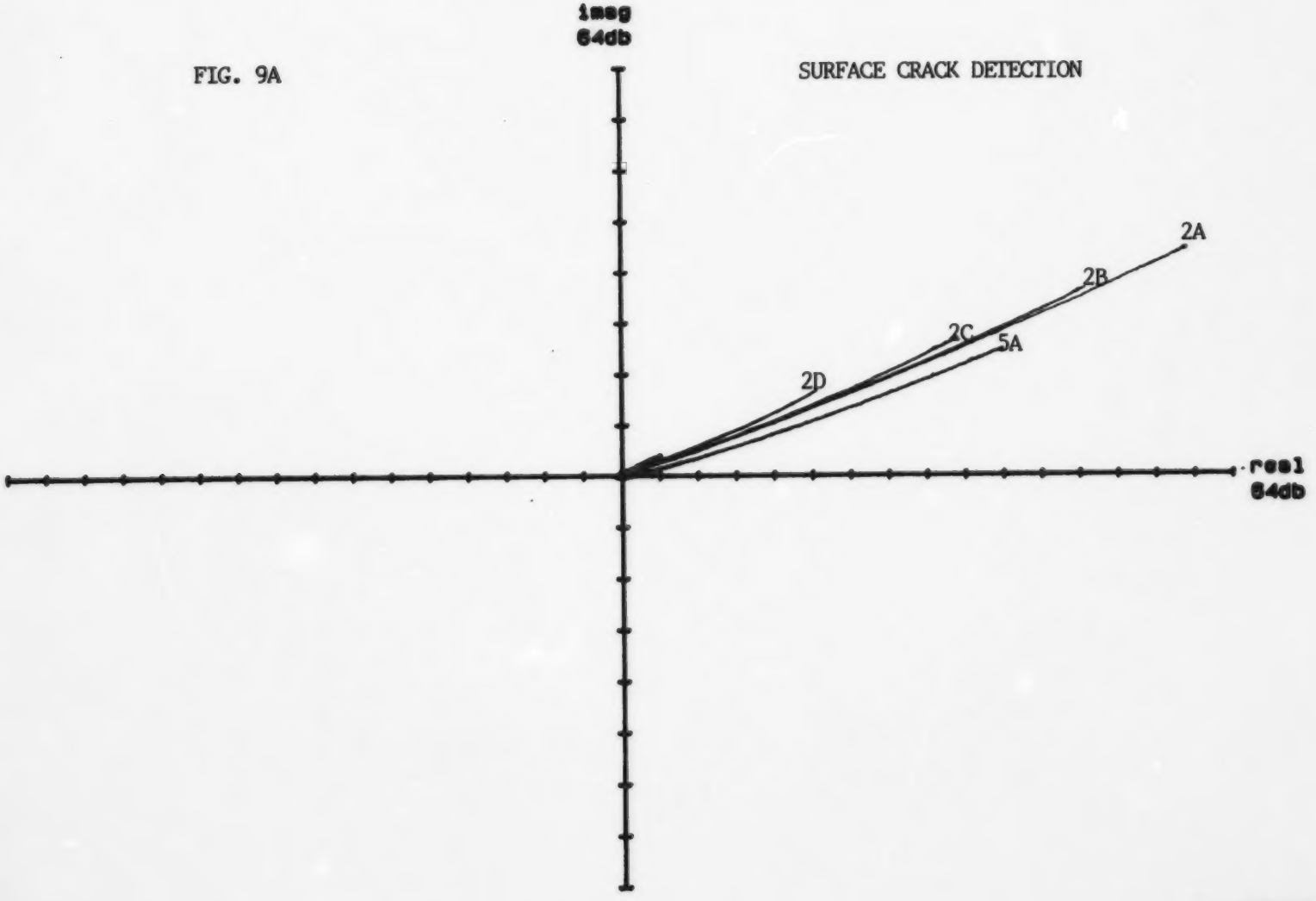
FIG 8D



f: 1.00 MHz probe: # 1 gain: 46 db hp: off lp: off rotat: 138

FIG. 9A

SURFACE CRACK DETECTION



TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec P.Q. Canada – G2E 5G5
Tél. (418) 871-3505
Télex 051-31679

f: 1.00 MHz probe: # 1 gain: 45 db hp: off lp: off rotat: 138

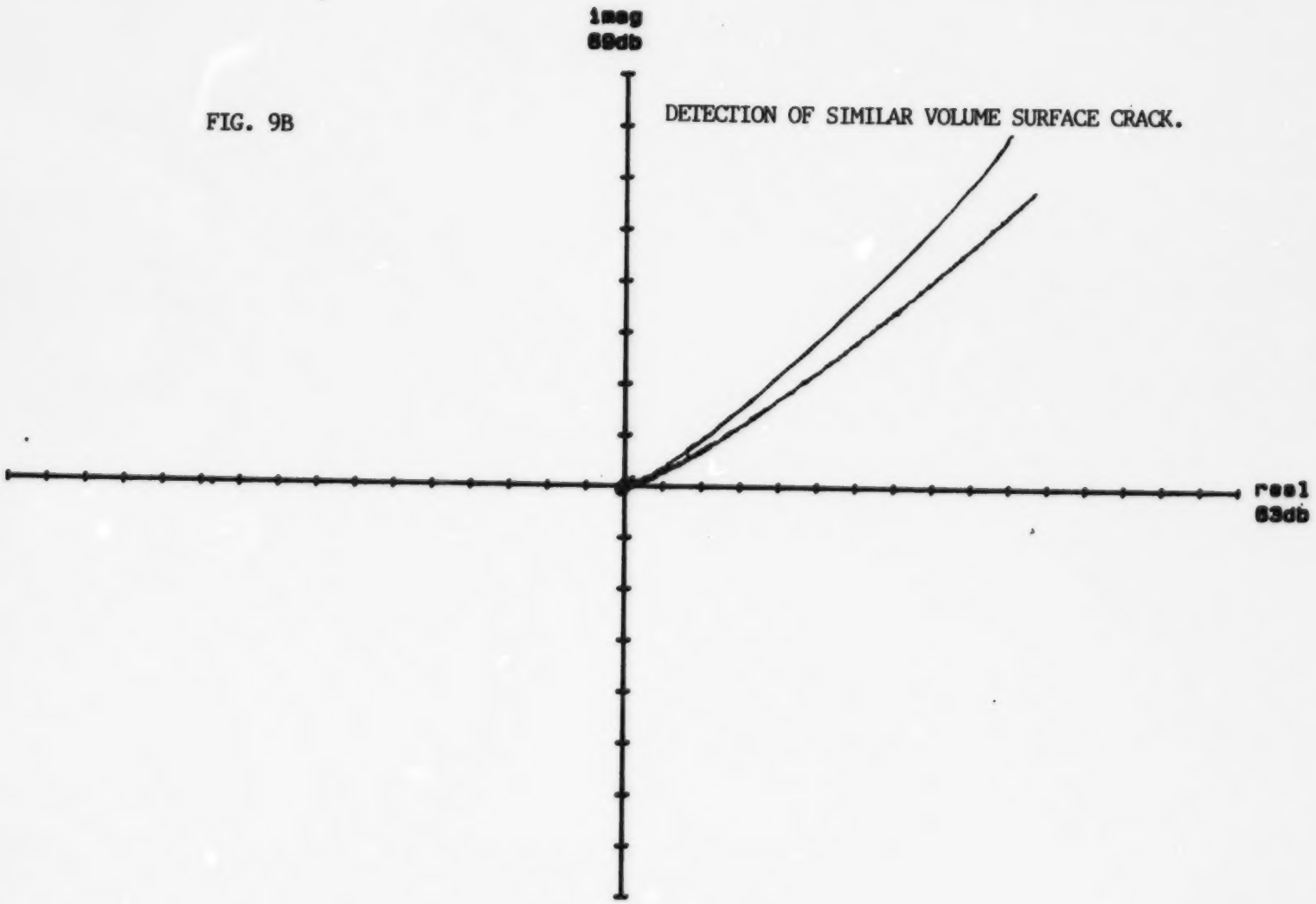
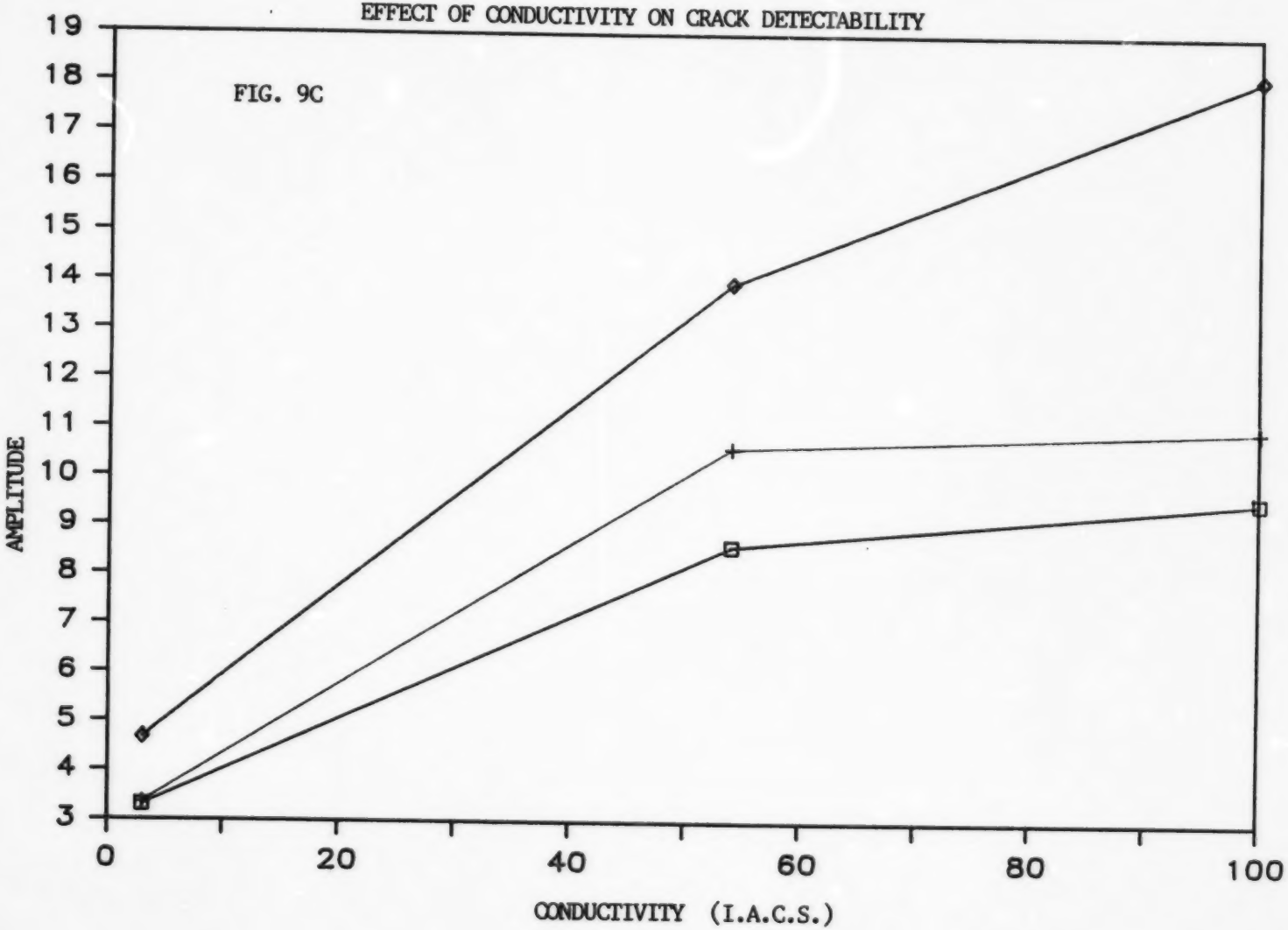


FIG. 9B

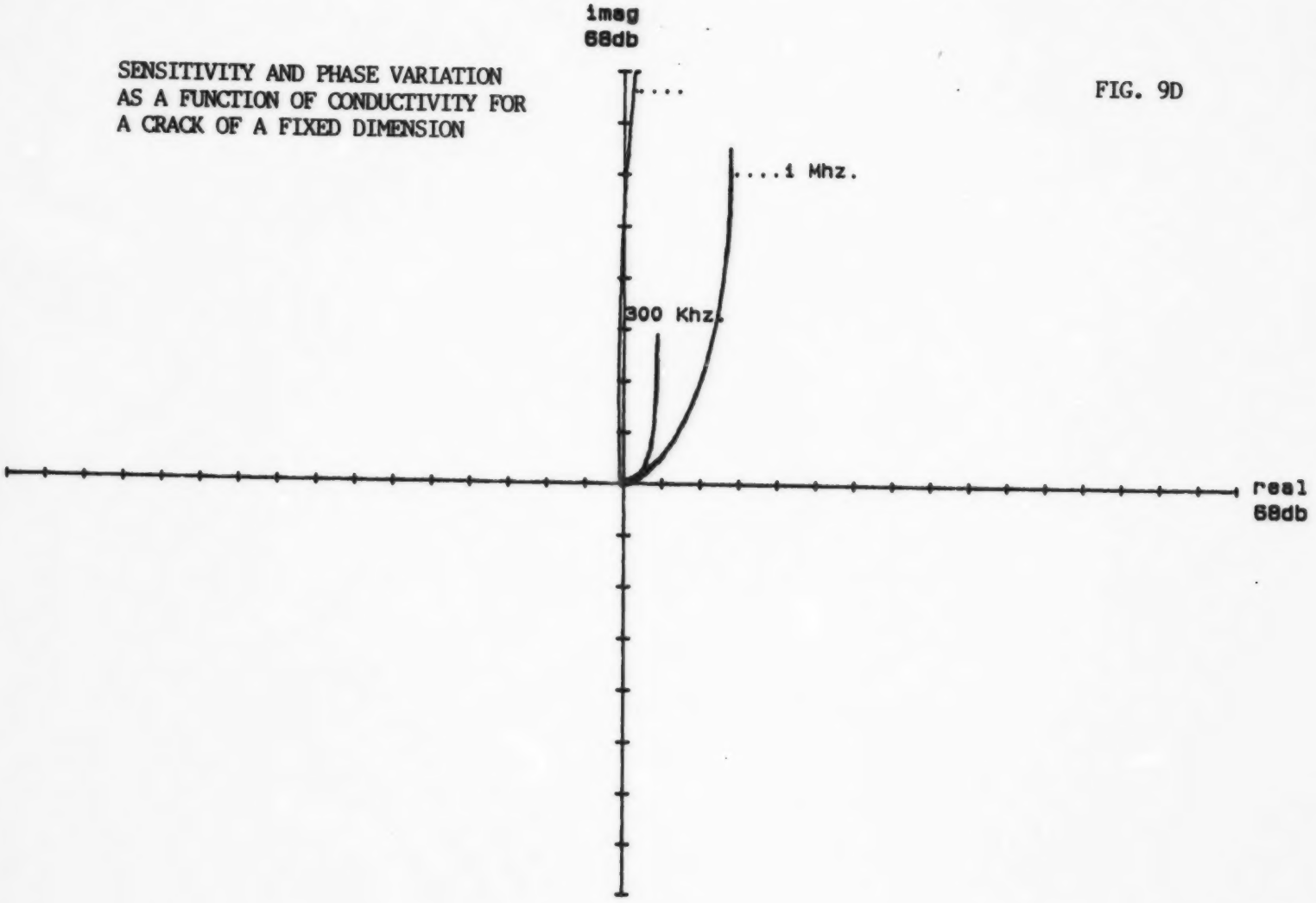
DETECTION OF SIMILAR VOLUME SURFACE CRACK.

TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada – G2E 5G5
Tél (418) 871-3505
Télex 051-31679



TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada — G2E 5G5
Tél.: (418) 871-3505
Télex: 051-31679

f: 300 KHz probe: # 1 gain: 50 db hp: off lp: 99 rotat: 26

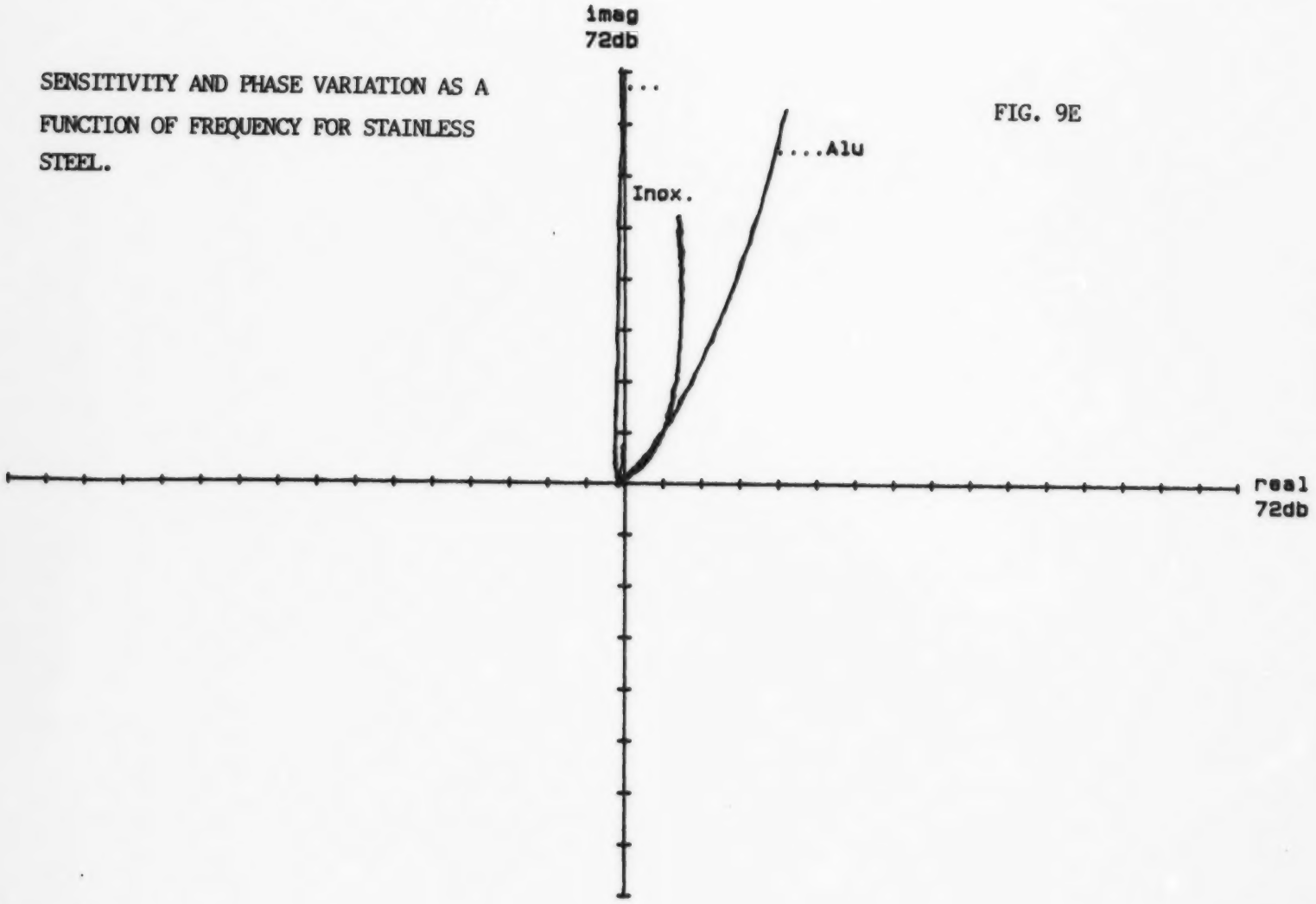


SENSITIVITY AND PHASE VARIATION
AS A FUNCTION OF CONDUCTIVITY FOR
A CRACK OF A FIXED DIMENSION

FIG. 9D

TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Quebec, P.Q. Canada – G2E 5G5
Tél. (418) 871-3505
Telex 051-31679

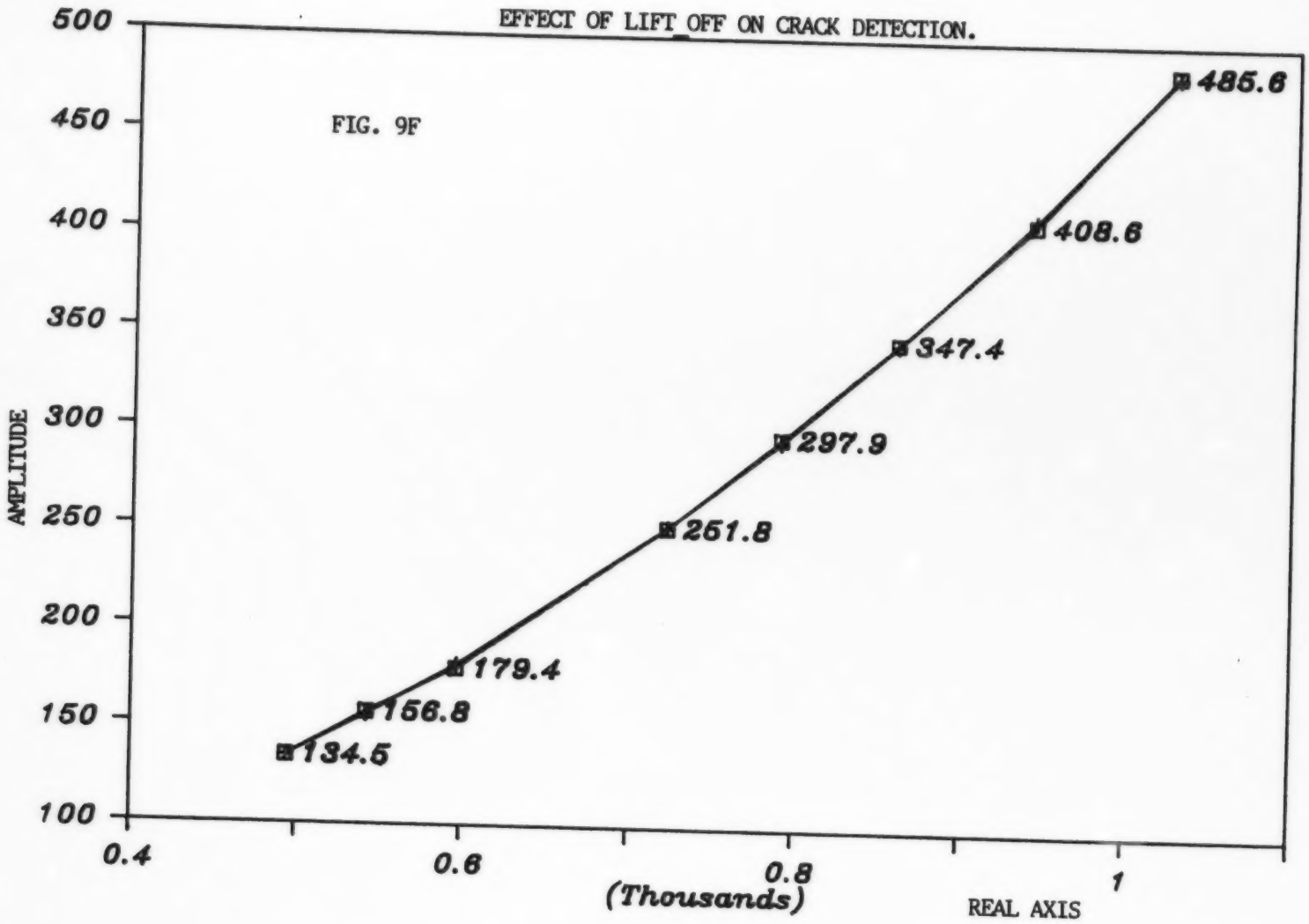
f: 300 KHz probe: # 1 gain: 48 db hp: off lp: 99 rotat: 56

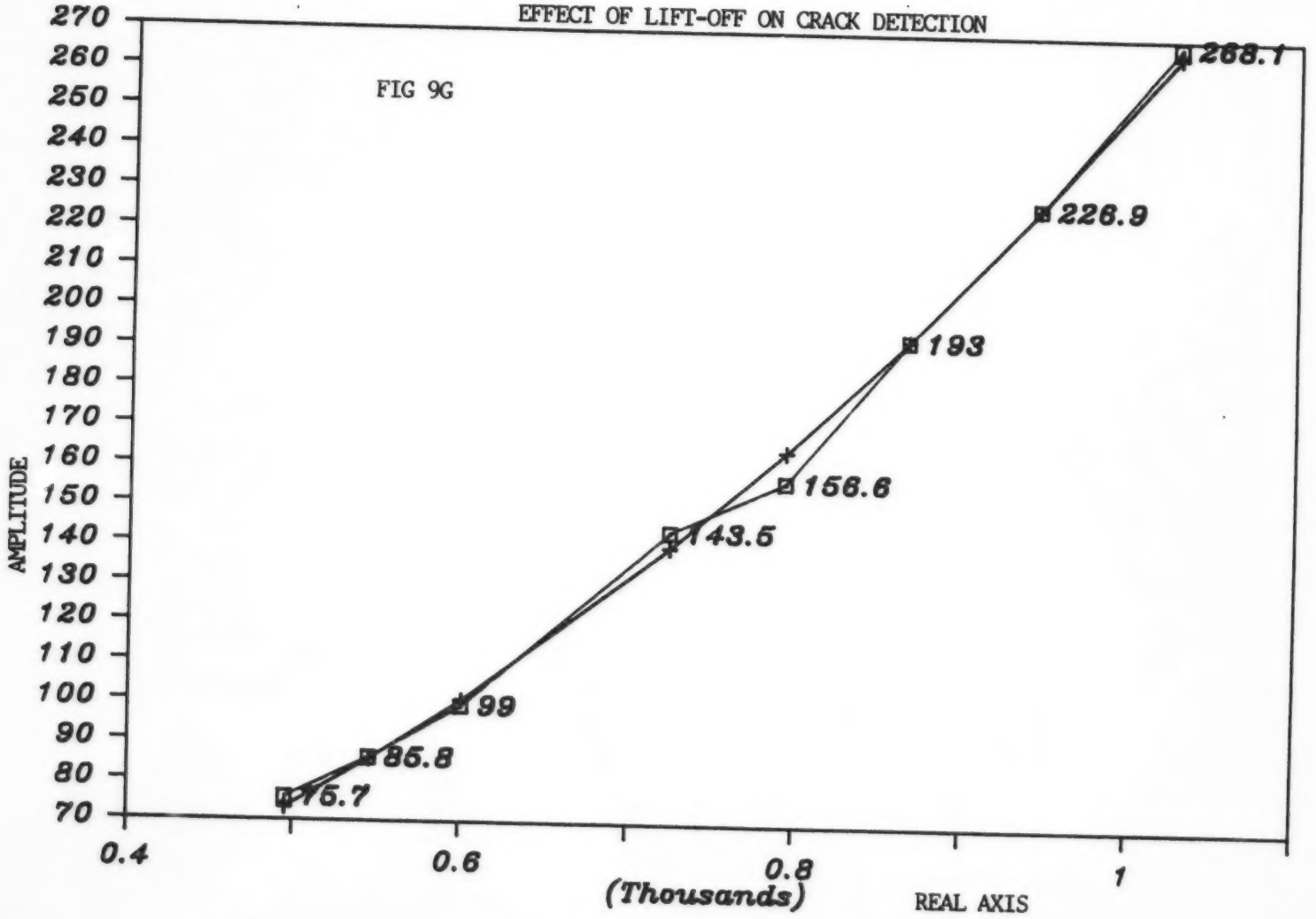


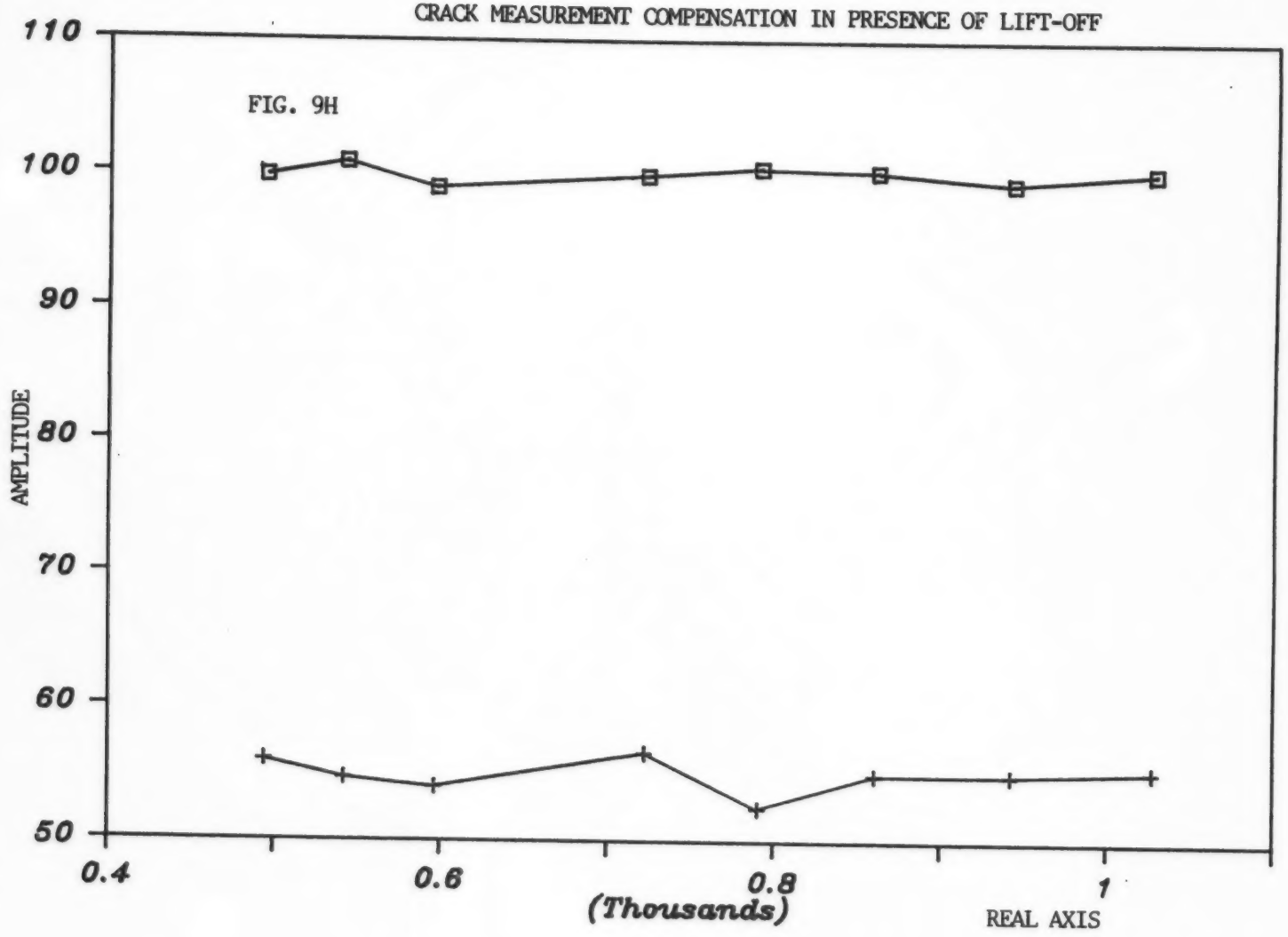
SENSITIVITY AND PHASE VARIATION AS A FUNCTION OF FREQUENCY FOR STAINLESS STEEL.

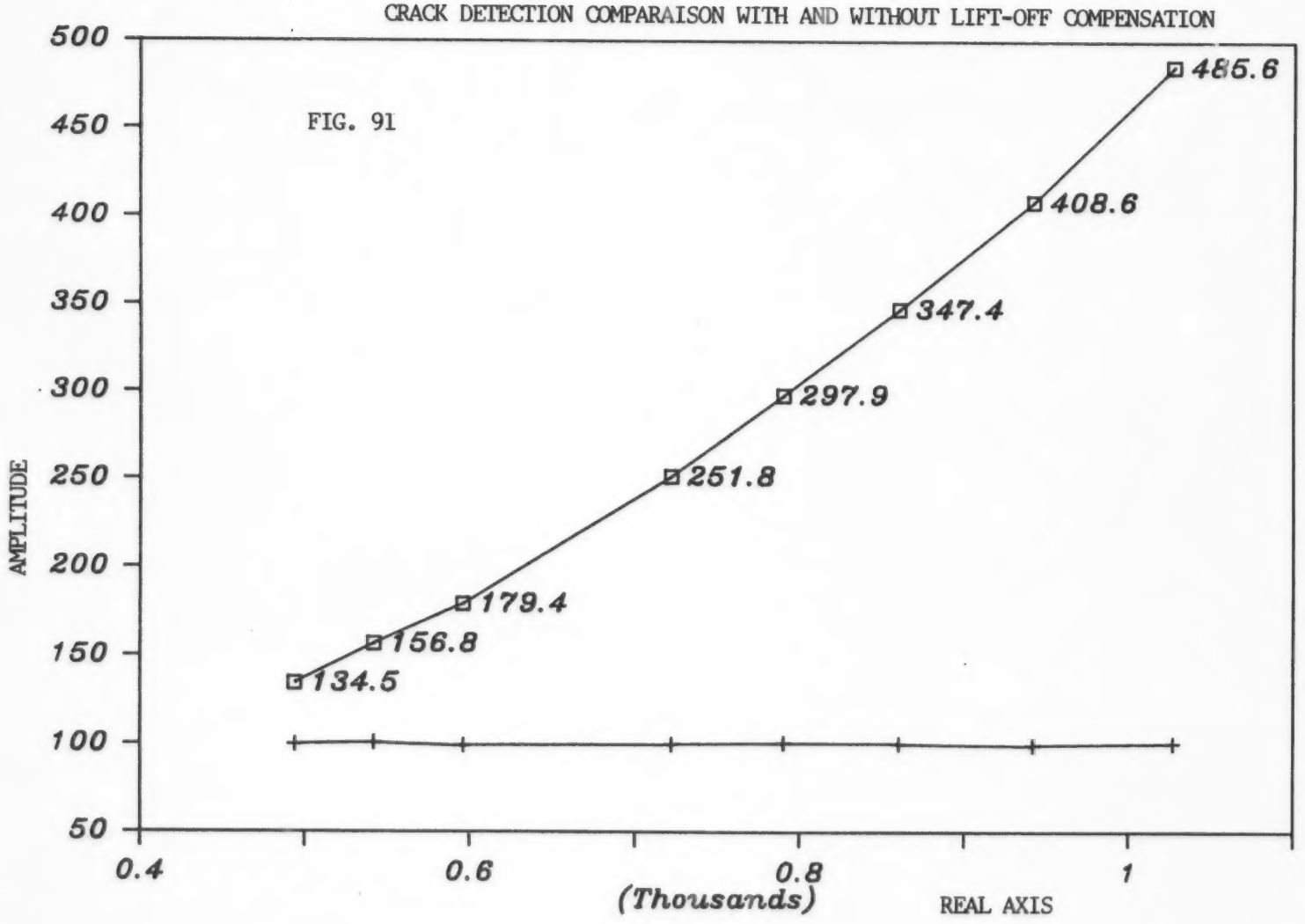
FIG. 9E

TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Quebec, P.Q. Canada – G2E 5G5
Tel (418) 871-3505
Telex 051-31679


EFFECT OF LIFT OFF ON CRACK DETECTION.
FIG. 9F
500
450
400
350
300
250
200
150
100
AMPLITUDE
485.6
408.6
347.4
297.9
251.8
179.4
156.8
134.5
0.4
0.6
0.8
1
(Thousands)
REAL AXIS


EFFECT OF LIFT-OFF ON CRACK DETECTION
FIG 9G
AMPLITUDE
270
260
250
240
230
220
210
200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
0.4
0.6
0.8
1
(Thousands)
REAL AXIS
268.1
226.9
193
156.6
143.5
99
86.8
76.7


CRACK MEASUREMENT COMPENSATION IN PRESENCE OF LIFT-OFF
FIG. 9H
110
100
90
80
70
60
50
AMPLITUDE
0.4
0.6
0.8
1
(Thousands)
REAL AXIS



TECRAD INC.
775 ave St-Jean-Baptiste suite 105
Québec, P.Q. Canada – G2E 5G5
Tél: (418) 871-3505
Telex: 051-31679

ANNEXE 2

ARTIFICIAL DEFECT DIMENSIONS					
MATERIAL: ALUMINIUM			CONDUCTIVITY: 55 % I.A.C.S.		
WIDTH	0.0077 "	0.0096 "	0.0100 "	0.0145 "	0.0205"
DEPTH	0.0189	0.0182	0.0181	0.0168	0.0190
	0.0133	0.0130	0.0139	0.0120	0.0140
	0.0090	0.0088	0.0092	0.0065	0.0090
	0.0040	0.0044	0.0047	0.0034	0.0045

ARTIFICIAL DEFECT DIMENSIONS					
MATERIAL: COPPER			CONDUCTIVITY: 100 % I.A.C.S.		
WIDTH	0.0065 "	0.0080 "	0.0100 "	0.0142 "	0.0200 "
DEPTH	0.0194	0.0189	0.0177	0.0190	0.0184
	0.0150	0.0142	0.0134	0.0143	0.0132
	0.0100	0.0086	0.0090	0.0100	0.0081
	0.0073	0.0038	0.0040	0.0042	0.0048

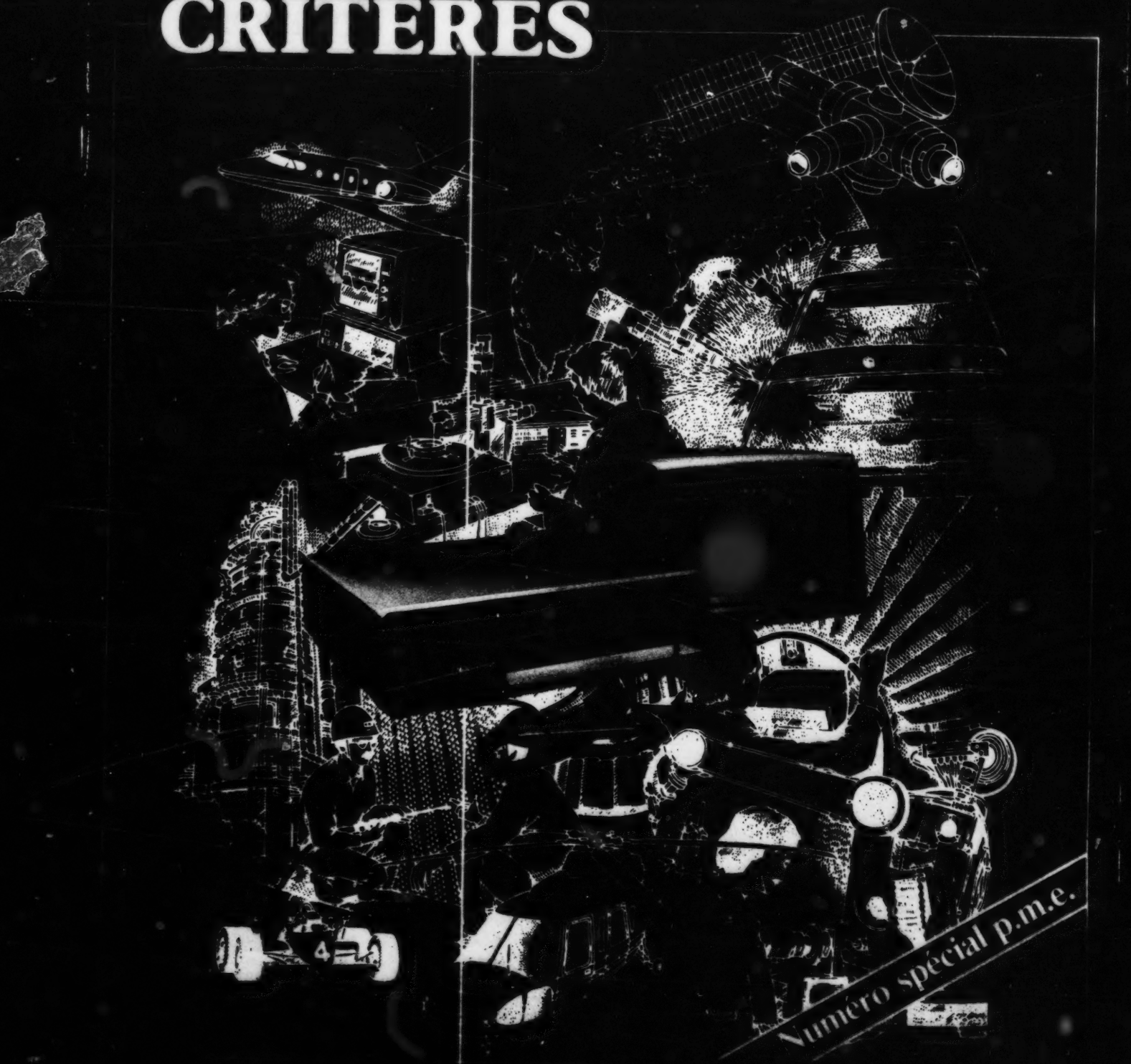
ARTIFICIAL DEFECT DIMENSIONS					
MATERIAL: BRASS			CONDUCTIVITY: 18 % I.A.C.S.		
WIDTH	0.0060 "	0.0080 "	0.0100 "	0.0150 "	0.0200 "
DEPTH	0.0185	0.0192	0.0193	0.0210	0.0198
	0.0135	0.0140	0.0132	0.0147	0.0155
	0.0090	0.0093	0.0090	0.0112	0.0108
	0.0043	0.0039	0.0038	0.0062	0.0071

ARTIFICIAL DEFECT DIMENSIONS					
MATIRIAL: INOX.			CONDUCTIVITY: 3.25 % I.A.C.S.		
WIDTH	0.0063 "	0.0080 "	0.0100 "	0.0145 "	0.0200 "
DEPTH	0.0172	0.0188	0.0172	0.0197	0.0190
	0.0135	0.0142	0.0135	0.0149	0.0134
	0.0087	0.0091	0.0088	0.0101	0.0093
	0.0044	0.0048	.00043	0.0055	0.0043

VOLUME 4 NUMERO

QUALITÉ CRITERES

revue de la gestion et du contrôle de la qualité



Numéro spécial p.m.e.

QUALITÉ

revue de la gestion et du contrôle de la qualité

ÉTÉ 1985 21 VOLUME 6, NUMÉRO 2

Éditeur
Joseph Kélada, ing., président

Rédacteur en chef
Dr Pierre F. Caillibot, ing.

Conseiller juridique
Me Gaston Meloche

Comité de rédaction
Dr Pierre Caillibot, ing. *vice-président exécutif*
Louis Canuel, *directeur, comité de rédaction*
Liguori Lefebvre, ing., *vice-président, relations*
Céline Mongeau, *adjoint au directeur, comité de rédaction*

Sylvie Morisette, *Association québécoise de la Qualité*

Directeur de la production
Lucie Bernard

Collaborateurs
Dr Michel Rigaud, ing., *École polytechnique*
Dr Ronald Simard, *Université Laval*

Comité consultatif
Pierre Laurin, *vice-président, Alcan*
Mattio O. Diorio, *École des H.E.C.*
Roger Têtreault, *directeur, Canadair*
Jean Roch Brisson, *président, Marine Industrie Ltée*
Raymond Felx, *directeur production, Consolidated Bathurst*
Guy Beauchemin, *président administration, Association Canadienne de l'Industrie du Médicament*
Yvon H. Masse, *vice-président, Canadien National*

Administration et production
Monique Desmarais, *adjoint administratif*
Jean Claudinon, *directeur de la photographie*

Direction internationale
Alain Chauvel, *vice-président, relations internationales*
Socotec Qualité «Les Quadrants», 3 avenue du Centre
78182 Saint-Quentin Yvelines
Cedex — France Tél.: 043.99.13 — Télex 698684F

Directions régionales
Jean de Caen, *directeur, Région de Québec*
BNQ, 50 est, rue St-Joseph, Québec
Tél.: (418) 643-5813
Bachir Toubal-Séghir, *directeur, Région de Trois-Rivières*
Université du Québec à Trois-Rivières
C.P. 500, Trois-Rivières, G9A 5H7
Tél.: (819) 376-5011

Collaboration
Conseil canadien des normes
Conseil des denrées alimentaires du Québec
Bureau de normalisation du Québec
Office de la langue française du Québec
Association des microbiologistes du Québec
Association canadienne de normalisation
Association Socotec Qualité

Publicité
s'adresser à Mme M. Nutall/(514) 684-4145
M. Maxime Gaudet
Mme Gisèle Bertrand
Tél.: (514) 729-4559

Sommaire

ÉDITORIAL Qualité et p.m.e.: Pourquoi un numéro conjoint QUALITÉ CRITÈRES?
Joseph Kélada , Alain M. Chauvel

4 Utilisation des courants de Foucault
Serge Bellier, Gilles Rousseau, Rock Samson

7 Budendorff, la qualité des volets roulants
Michel F. Dubois,

9 Implantation de la gestion de la qualité chez IPL
Pierre A. Dion ing.,

15 Compagnie française du cristal, unité de Bayel
Didier Carabel, Patrick Lailler

18 En bref

21 AQQ — Activités et nouvelles

Secrétariat: tél. (514) 684-4145
Mme Monique Nuttall

Abonnements: 1 an 16$, 2 ans 30$
- étranger: 1 an 28$, 2 ans 50$
- bibliothèques: 1 an 60$, 2 ans 100$

Revue trimestrielle,

Adresse de retour
1424 HYMUS — SUITE 2
DORVAL (QUÉ)
H9P 1J6

Courrier deuxième classe:
Enregistrement No 5084

Tous droits de reproduction, traduction ou adaptation, réservés. Les textes paraissant dans QUALITÉ (gestion et contrôle) sont publiés sous la responsabilité exclusive de leur(s) auteur(s).

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
Numéro ISSN : 0226-3432

QUALITÉ agit comme véhicule officiel de l'Association Québécoise de la Qualité

Qualité et p.m.e.:

Pourquoi un numéro conjoint QUALITÉ CRITÈRES?

Ces deux revues sont nées d'un besoin de véhiculer en français, des informations sur les aspects de la gestion, du contrôle et de l'assurance de la qualité, l'une au Québec et l'autre en France.

QUALITÉ qui, à ses débuts paraissait une aventure sans lendemain, entre maintenant fièrement dans sa sixième année d'existence. Elle jouit de l'appui de l'Association québécoise de la qualité et de tous ceux qui, au Québec, s'intéressent à ce domaine en continuelle évolution. Praticiens et théoriciens, éducateurs et gestionnaires, dans les universités et les collèges, dans les entreprises, les associations et les organismes gouvernementaux, tout le monde contribue à l'action. CRITÈRES est le lien entre les membres de l'Association SOCOTEC QUALITÉ, c'est un véhicule d'information qui leur est très utile.

Ces deux revues sont le fruit d'efforts de ceux qui, dans notre monde francophone, veulent adhérer à une nouvelle culture d'entreprise, de ceux qui croient que la qualité n'a pas de frontières. Ceux qui reconnaissent que sans qualité, il n'y a pas d'avenir possible, tant sur les marchés locaux que sur les marchés internationaux.

Les petites et les moyennes entreprises jouent dans l'économie québécoise, tout comme dans l'économie française, un rôle de première importance. Ce sont elles qui, malgré leur taille et à cause de leur nombre, sont les principales créatrices d'emplois. C'est vers elles que se tournent nos gouvernements pour donner à l'économie un regain si nécessaire après les crises que nous venons de vivre.

Nous leur consacrons donc ce numéro en témoignage de ce qui s'y fait pour relever un défi que plusieurs pensent réservé à la grande entreprise, à la multinationale. Nous présentons ici quatre p.m.e. — deux québécoises et deux françaises — qui ont su donner à la qualité la place qu'elle mérite dans la gestion et dans la stratégie à la qualité la place qu'elle mérite dans la gestion et dans la stratégie de l'entreprise. Elles ont compris que la qualité dépasse largement — sans en diminuer l'importance — les aspects techniques du contrôle. Elle s'inscrit dans la philosophie de leur direction, dans leur façon de voir et de faire.

Dans le cas de l'une de ces entreprises, la direction a décidé de mettre son savoir, d'orienter ses recherches et de mettre ses produits au service de la qualité. Elle a fait sa marque dans les essais non-destructifs, plus économiques et plus efficaces dans les industries qui y ont recours.

QUALITÉ ET CRITÈRES s'unissent, à cette occasion et offrent leur soutien et leur participation aux efforts qu'entreprennent de plus en plus les p.m.e., des deux côtés de l'océan. De plus, nous tenons à remercier l'Association des commissaires industriels du Québec pour leur collaboration.

Joseph Kélada
Éditeur et rédacteur en chef
Revue Qualité

Alain M. Chauvel
Vice-président international
Association Socotec Qualité

Utilisation des courants de Foucault

par: Serge Bellier
Gilles Rousseau
Rock Samson

La Société Tecrad a été fondée à Québec en 1981 et s'est spécialisée dans la fabrication de produits utilisés pour le contrôle de la qualité, principalement pour les essais non-destructifs. Ces produits sont actuellement vendus sur les marchés internationaux. Ceux-ci comprennent quatre systèmes à courants de Foucault. Cette méthode permet de contrôler des pièces métalliques par essais non-destructifs qui ne requièrent aucun contact avec la pièce testée. Elle permet, en outre, la détection de fissures, la mesure de la dureté et de l'épaisseur de revêtements.

Un peu d'histoire

Depuis longtemps, dans l'industrie nord-américaine, l'accent a été mis sur la réduction des coûts, l'accroissement des quantités produites et la maximisation des profits. Dans un tel contexte, les activités de contrôle de la qualité étaient perçues comme superflues et inutilement coûteuses. Elles n'étaient tolérées par le personnel de production et de marketing que si elles étaient strictement nécessaires. Rien ne justifiait de telles activités vu que les acheteurs, industriels ou consommateurs, recherchaient avant tout des produits qu'ils pouvaient acquérir à bon prix plutôt que des produits fiables et durables. Dans les années 70, la situation changeait. Ce changement était né cependant un quart de siècle plus tôt.

En effet, après la deuxième guerre mondiale, les pays tels que l'Allemagne et le Japon réalisaient que le seul moyen de conquérir les marchés internationaux était d'offrir des produits de qualité à des prix compétitifs. Avec la crise économique qui a suivi la crise du pétrole, les acheteurs exigeaient des produits de haute qualité.

Les pays tels que le Japon avaient l'avantage, après la guerre, de posséder des usines neuves et modernes équipées d'un outillage moderne. De plus, des programmes jouissant du soutien de l'industrie et du gouvernement, étaient mis sur pied pour améliorer la qualité et encourager l'exportation des produits. Le Japon avait lancé, dans les années 50, des programmes massifs de formation en contrôle de la qualité et ce, à tous les niveaux et dans toutes les entreprises industrielles. La recherche de la qualité y devenait une obsession qui, vingt ans plus tard devait porter des fruits. L'invasion massive de leurs produits sur tous les marchés internationaux en témoigne éloquemment.

Tant au Japon qu'en Allemagne on adoptait des nouvelles techniques pour contrôler la qualité des produits, principalement des essais non-destructifs qui

Utilisation des tests non-destructifs.

s'avéraient économiques, rapides et fiables. En effet, on pouvait alors tester des pièces et des produits sans être obligé de les détruire, réduisant ainsi significativement les coûts de ces contrôles et améliorant du même coup la qualité de leurs produits.

Avec la crise des années 70, les Nord-Américains réalisaient l'importance capitale de la qualité pour faire face à une féroce concurrence sur les marchés mondiaux. Certaines lois furent alors promulguées à la hâte, certaines normes furent élaborées à toute vitesse par un personnel pas toujours qualifié pour le faire. Dans plusieurs cas ces lois et ces normes s'avéraient inefficaces et leur application très coûteuse pour l'industrie.

La perte de marchés traditionnellement occupés par des produits américains tels que l'acier, l'automobile, les pneus et la production de machines outils, devait amener un intérêt soudain des dirigeants de l'industrie pour la qualité des produits. Cet intérêt se concrétisait par des effets qui signifiaient des coûts plus élevés de gestion de la qualité à court terme; les résultats positifs démontrent aujourd'hui que ce fut un investissement très rentable.

Utilisation des tests non-destructifs

L'un des éléments importants dans le contrôle de la qualité est l'utilisation étendue d'essais non-destructifs. Ceux-ci permettent de détecter facilement des défauts présents dans des matériaux, pièces et produits. Ils sont fiables et réduisent le nombre et la fréquence des inspections.

Cependant, pour être efficaces, ces essais doivent être adéquatement documentés pour que leurs résultats puissent être attentivement analysés et les défectuosités les plus fréquentes prévenues dans les productions subséquentes. Les instruments doivent être étalonnés suivant des normes très strictes et régulièrement mises à jour.

Utilisation des courants de Foucault

L'application de ces courants, dans le domaine des essais non-destructifs, remonte au début des années 50. L'instrumentation de base utilisant les courants de Foucault comprend: (a) un générateur de ces courants, (b) une bobine d'induction et (c) un détecteur mesurant le courant et la tension.

Le générateur établit dans la bobine un courant alternatif d'une certaine fréquence. Ce courant circulant dans la bobine crée un champ magnétique de la même fréquence, dont l'amplitude dépend de l'intensité du courant et du nom-

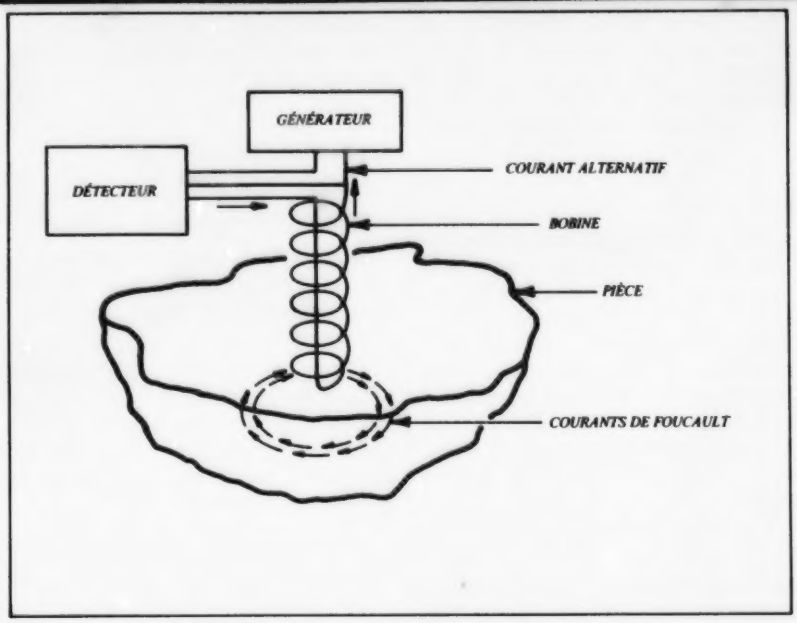


Figure 1: Courants de Foucault

Avant d'introduire le système, on doit définir avec précision le problème.

bre de tours de fil. Si la bobine est placée sur une surface conductrice, le champ magnétique dans la bobine pénètre le matériau en surface. Le champ excitateur induit alors des courants dans le milieu conducteur. Ces courants sont appelés courants *Foucault*, du nom du physicien français qui les a découverts.

Ils circulent de telle sorte qu'ils s'opposent au champ qui leur a donné naissance. Le champ résultant à l'intérieur de la bobine est alors la somme des champs causés d'une part par le générateur et d'autre part par les courants de Foucault. Finalement, la diminution de champ magnétique dans la bobine se fait ressentir sur le courant inducteur en modifiant la réactance inductive et la résistivité de la bobine.

L'information concernant les courants peut être recueillie en mesurant le champ magnétique à l'intérieur de la bobine et de comparer le résultat à un étalon donné.

Représentation des résultats

Les résultats sont représentés sous forme de diagrammes d'impédance. On trace, en ordonnée, la variation de la réactance inductive en fonction de la variation de la résistivité de la bobine. En partant de zéro, si la bobine est déplacée sur les matériaux de conductivité électrique différente, l'évolution des points d'impédance suivra un arc de cercle. La variation d'impédance sera grande pour les matériaux de grande conductivité.

Les caractéristiques essentielles de tels diagrammes sont: une augmentation de conductivité déplace le point d'impédance vers le bas, les courbes issues de l'origine du diagramme représentent l'effet de l'espacement entre la sonde et le matériau: plus l'espacement est élevé, plus l'impédance de la bobine tend vers celle de l'air, une augmentation de la fréquence de travail déplace tous les points d'impédance vers le bas.

Limitations

Cette technique de contrôle a comme principale limitation de n'être sensible qu'aux propriétés de surface. Il s'agit là d'une limitation importante si ce sont les propriétés internes du matériau qui nous intéressent. Par contre, elle s'avère très utiles quand les zones en surface sont importantes. En faisant varier la fréquence, la densité du courant induit dans les couches d'intérêt variera. Il est ainsi possible de mesurer les propriétés de certaines couches tout en éliminant l'effet des autres.

Applications pratiques

Parmi les applications actuelles de cette méthode mentionnons:

Dans l'industrie des métaux primaires: les tests en production des fils, des tiges, des tuyaux, des barres ferreuses et non-ferreuses.

Dans l'industrie de transformation: les tests de petites pièces telles que les roulements à billes, les arbres des pompes à eau et les tests des grosses pièces comme les chevilles de bulldozers pour la dureté et le dimensionnement.

Dans l'industrie automobile: l'évaluation des traitements thermiques (dureté), la détection de fissures de pièces de tout type.

De plus, cette méthode est utilisée dans le contrôle de la qualité en avionnerie, pour les échangeurs thermiques.

Elle peut servir au tri des matériaux en évaluant la dureté des aciers ou des aluminiums à durcissement structural, en mesurant le taux d'écronissage des aciers inoxydables ou en déterminant les contraintes résiduelles dans les tubes d'acier. Elle peut être utilisée pour mesurer l'épaisseur de revêtements non-conducteurs sur des pièces métalliques ou de revêtements conducteurs tels que l'or ou l'argent sur de telles pièces. D'autres applications comprennent la mesure d'épaisseur de dépôt conducteur sur des céramiques telles que les plaques de circuits imprimés multi-couches et le contrôle de l'épaisseur de feuillard métallique à la sortie d'un laminoire.

Les courants de Foucault peuvent être utilisés pour les mesures de dureté tel que dans le cas de fontes. L'une des principales applications de ces courants reste cependant la détection de fissures, mêmes si elles ne paraissent pas en surface. Cette application est courante dans plusieurs domaines de haute technologie: inspection des tubes de chargement de combustible des centrales nucléaires, des conduits métalliques en pétrochimie ou les structures dans l'avionnerie.

Implantation d'un système de contrôle non-destructif

Avant d'introduire un tel système dans une entreprise, on doit définir avec précision le problème. On passe ensuite au choix de la méthode à utiliser. Cette sélection est basée sur plusieurs critères: précision et reproductibilité de la mesure, rapidité, adaptabilité de la méthode à la production, coût...

Une fois le problème cerné et la méthode choisie on passe à la phase d'expérimentation. Cette phase est de toute première importance pour s'assurer que la méthode choisie est bien adaptée au problème à résoudre. Une fois la méthode éprouvée elle doit être personnalisée. Cette personnalisation se fait au niveau du palpeur et du logiciel d'exploitation du système.

Le système est alors implanté dans le procédé de fabrication et on a un contrôle à 100% de la production.

Certaines de ces méthodes ont la propriété de mesurer le degré de sévérité du paramètre à contrôler. Cela permet de refuser les pièces dont le paramètre dépasse un seuil critique pouvant facilement être fixé par l'usager.

L'ordinateur au service de la qualité.

Conclusion

L'implantation d'un système de contrôle non-destructif peut donner d'excellents résultats tout en réduisant les coûts de production. L'implantation d'un tel système requiert cependant une collaboration entre l'utilisateur et le fournisseur d'un tel système. De plus, le fournisseur lui-même doit avoir une connaissance technique très étendue de l'instrumentation et des applications possibles dans l'industrie. C'est ce qui explique le succès de Tecrad, une p.m.e. au service de la qualité. ●

Bubendorff, la qualité des volets roulants

par: Michel F. Dubois
Socotec Qualité

En 1932, la Société Bubendorff était une scierie située à Hegenheim en Alsace. La vocation actuelle de l'entreprise, leader national du volet roulant s'est dessinée en 1954. À cette époque, les volets roulants ou non étaient en bois, ce qui explique le choix de cette diversification. La Société a connu un développement rapide avec une augmentation constante de son chiffre d'affaires: 50 millions de Francs en 1978, 139 millions de Francs en 1984.

Dans la période où le remplacement du bois commençait à s'imposer son P.D.G., Monsieur Richard Bubendorff, a su prendre un double virage, en 1965 en s'orientant vers la fabrication en P.V.C. et en 1971 en démarrant le profilage de l'aluminium. En dehors des changements de matériaux, le marché du bâtiment a beaucoup évolué. Face à la croissance des opérations de rénovation, la Société Bubendorff a mis au point des volets roulants spécialement destinés aux baies des immeubles anciens.

Aujourd'hui, l'entreprise compte près de 300 personnes. Implantée à Saint-Louis en Alsace, elle offre la particularité d'être située aux trois frontières: allemande, suisse et française. Des équipements performants permettent une cadence de production de 800 volets par jour. Déjà placée aux tout premiers rangs des fabricants européens, la Société Bubendorff vise maintenant d'autres marchés à l'exportation: les États-Unis et l'Australie notamment.

La politique

Compte tenu de son développement, l'entreprise devait consolider ses positions. C'est ce qu'exprimait Monsieur Bubendorff en déclarant il y a trois ans: «Jusqu'à maintenant, nous nous sommes surtout préoccupés de l'expansion de notre Société et nous n'avons pas suffisamment attaché d'importance à nos erreurs, à leurs causes et à leurs conséquences».

Pour affirmer que: «La pire façon de dépenser de l'argent est sans doute de le gaspiller en erreurs, en défauts ou en défaillances»

En précisant: «Nous avons décidé d'attaquer et de dominer ce problème. Pour obtenir un résultat valable, nous devons définir une politique qualité qui doit être l'affaire de tous. Cette politique doit être considérée comme une performance que chacun, quelle que soit sa fonction et sa position dans notre Société, doit s'efforcer d'atteindre. Il faut être conscient que l'objectif final doit nous amener à être et à rester les meilleurs du marché».

M. Bubendorff conclut: «Je suis convaincu que la qualité est un gage d'avenir et l'image de marque de notre Société doit avoir pour référence la qualité. Je suis persuadé qu'un produit bien fait dès la première fois reviendra toujours moins cher qu'un produit nécessitant une retouche ou une intervention supplémentaire. C'est pourquoi j'ai estimé qu'il était urgent de mettre en place cette politique qualité en nous donnant les moyens d'atteindre nos objectifs, car je pense fermement qu'une clientèle satisfaite devient et reste un partenaire fidèle».

La Société Bubendorff a attaqué le problème en confiant à des spécialistes la réalisation d'un diagnostic qualité. Le regard neuf et le recul des spécialistes extérieurs sont des atouts précieux pour évaluer les forces, les faiblesses et surtout les opportunités d'amélioration dans l'organisation et les méthodes d'une entreprise. À l'issue du diagnostic, vers la fin de 1982, un programme de recommandations a été présenté à la direction générale qui a décidé de s'engager dans un vaste plan d'amélioration de la qualité.

Ce plan lancé début 1983 se poursuit encore aujourd'hui afin d'améliorer continuellement les performances.

La stratégie et les moyens

La stratégie mise en œuvre dans le cadre du plan d'amélioration de la qualité a considéré qu'il fallait des hommes, des informations et des techniques appropriées pour gérer la qualité.

Dès le démarrage du programme, le personnel a pris conscience qu'un volet roulant de bonne qualité doit être bien conçu bien réalisé mais aussi bien posé, car la qualité ne tient pas uniquement aux caractéristiques intrinsèques du produit, mais également aux soins apportés à la pose. La technique de mise en place et les relations directes entre le poseur et le client sont fondamentales pour assurer la satisfaction totale de l'utilisateur.

Un Comité d'amélioration de la qualité a été créé pour coordonner la mise en place du plan d'action. Ce Comité qui se réunit toutes les six semaines regroupe les responsables des services qualité, études production, achats, lancement et com-

mercial sous la présidence du Directeur Général, Monsieur Zeller.

Ses membres ont reçu une formation aux méthodes de Gestion de la Qualité: outils de réflexion, outils d'analyse, statistiques, outils de saisies, outils de suivi.

Les informations ont été regroupées sous différentes formes en fonction de leur nature et de leur destination. Le document le plus global est le Manuel Qualité de l'entreprise qui a été construit en rassemblant les informations qui décrivent la politique, l'organisation, les méthodes, les procédures et les moyens mis en œuvre pour satisfaire la clientèle.

D'autres documents ont été mis au point pour informer le personnel concerné des objectifs ponctuels à atteindre et des actions à entreprendre pour se conformer aux résultats escomptés. Les techniques de gestion de la qualité ont été appliquées aux différents secteurs de l'entreprise ainsi qu'à ses principaux partenaires: fournisseurs et clients.

Fournisseurs

L'effort a d'abord porté sur l'amélioration des spécifications précisant la définition des composantes et les critères de contrôles. Cette action était le préalable nécessaire pour suivre les défauts et établir une «cotation des fournisseurs» sur des bases claires et équitables.

Fabrication

Un plan de contrôle a été défini et progressivement mis en place. Il fait largement appel à l'auto-contrôle dont les résultats sont inscrits sur les fiches de fabrication. Au niveau du contrôle, le laboratoire s'est développé et l'équipement permet d'effectuer des mesures précises et indiscutables (appareil Vicat, fours spéciaux, balances électroniques de très haute précision, projecteur de profil, isoscope, etc...).

Pose

Le principe de l'auto-contrôle formulé a été retenu pour les opérations de pose des volets roulants sur les chantiers.

Client

On retrouve ici l'autre partenaire de l'entreprise, le client. Pour évaluer sa satisfaction et contrôler l'évolution de l'image de marque, un système spécifique a été mis en place et les informations fournies permettent d'engager les actions correctives nécessaires.

Les résultats

Actuellement, le plan d'amélioration de la qualité est loin d'être terminé. Il est en perpétuelle évolution. En gestion de la qualité, rien n'est définitivement acquis, les besoins, les techniques et les hommes évoluent et il faut s'adapter et se remettre en cause en permanence. Des résultats très probants ont été obtenus.

Sur le plan interne

Un premier résultat non mesurable, mais très significatif se retrouve dans une grande motivation du personnel, qui est très sensible à l'approche participative de la gestion de la qualité.

La concertation, l'information, la prise en considération des avis et des expériences, l'implication de la Direction, orientées dans une volonté réelle d'amélioration sont des conditions qui créent un climat nécessaire à une vraie motivation. Ce résultat est fondamental car c'est la clé de la réussite et les performances évoluent alors dans tous les secteurs de l'entreprise: Technologie, innovation, etc...

D'ailleurs, le nombre de défauts et d'erreurs en cours de fabrication est en constante régression.

Sur le plan externe

La meilleure définition du produit sous-traité a favorisé la concertation et l'échange avec les fournisseurs. Ces derniers ont des idées et un savoir-faire qu'il serait dommage d'ignorer.

Par exemple: la saisie précise et l'analyse des défauts constatés sur des lots de matière première ont permis d'engager une action auprès d'un très important fournisseur. Ce dialogue a abouti à un accord sur des spécifications plus précises et plus réalistes. Une réduction très importante des défauts a immédiatement été enregistrée au contrôle de réception.

Avec la clientèle

La figure 1 montre l'évolution des plaintes clients, après l'engagement d'actions correctives destinées à réduire un certain nombre de défauts saisis et analysés.

Ces résultats ne constituent qu'un début, les actions et les efforts se poursuivent car en matière de qualité, la norme est stricte, il faut viser la performance à 100 %. •

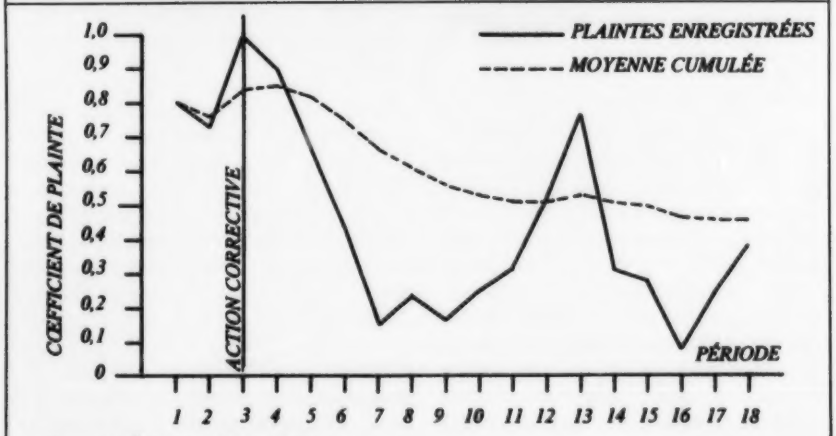


Figure 1: Évolution plaintes clients

EXPÉRIENCE VÉCUE

Implantation de la gestion de la qualité chez IPL

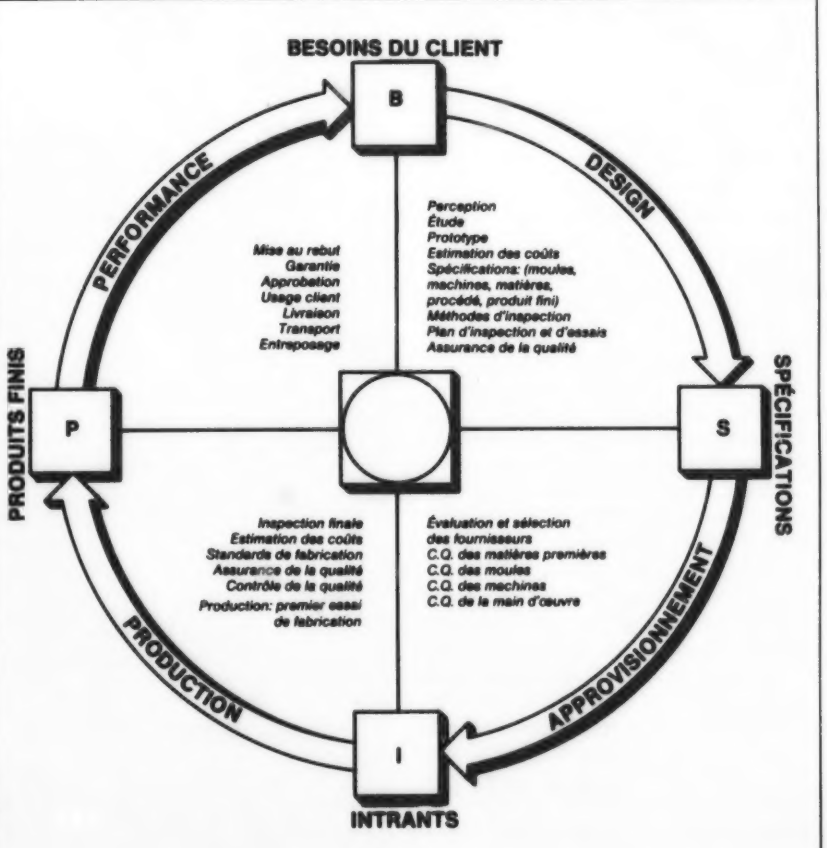
par: Pierre A. Dion, ing.
Directeur, Assurance de la qualité
IPL inc.

Fondée en 1939 à St-Damien de Bellechasse par J. Emile Métivier, IPL se spécialisa dans la fabrication de balais et brosses de toutes sortes. Vers 1950, IPL diversifia sa production dans la fabrication de produits en plastique moulés par injection ou par extrusion. Les quatre frères Métivier ont pris la relève de leur père et ont non seulement réussi à faire de leur entreprise l'une des plus importantes manufactures canadiennes dans ce domaine, mais aussi à orienter leur production vers le marché international.

Aujourd'hui IPL se consacre exclusivement à la fabrication de produits en plastique. La compagnie fabrique actuellement une gamme de plus de 500 produits différents destinés à des usages très variés:produits touchant l'emballage, produits de manutention, produits pour différents moyens de transport, produits pour usage domestique, etc. Aujourd'hui, la compagnie compte plus de 450 employés et réalise un volume d'affaires de plus de $35 millions.

Progression de la gestion de la qualité

Au début de la compagnie c'était le travailleur qui était responsable de fabriquer et de vérifier la qualité des produits. Il n'y avait à ce moment là aucune organisation indépendante pour vérifier la qualité des produits fabriqués. En 1975, un laboratoire de recherche pour étudier les matériaux et les conditions de moulage fut organisé en collaboration avec le Conseil National du Canada. Le personnel du département du Contrôle de la qualité fut augmenté pour qu'une présence constante soutienne la production 24 heures par jour, 7 jours par semaine.



CYCLE DE LA QUALITÉ

En 1982 le contrôle statistique de la qualité fut implanté à la grandeur de la compagnie et le personnel fut augmenté à une vingtaine de personnes. Aujourd'hui la compagnie est très fière de la qualité des produits qu'elle fabrique et a obtenu de la compagnie Ford la mention honorifique Q1. IPL INC. fut la première compagnie au Canada dans les plastiques à obtenir cette mention. En 1982, des investissements de plus de 500 000,00$ en immobilisation ou en main-d'œuvre ont dû être faits pour réaliser des économies de plus de 1 000 000,00$ en réduction des coûts et en augmentation de la productivité.

Complexité de la fabrication et du contrôle

Le moulage par injection ou par extrusion des résines thermoplastiques est très complexe car les conditions de fabrication dépendent des résines utilisées. Les dimensions des pièces fabriquées varient en fonction de la résine utilisée, en fonction des paramètres de fabrication du procédé.

En général les dimensions des pièces varient dans le temps à cause du retrait volumique. Les dimensions varient aussi selon leur température à cause du coefficient élevé de dilatation environ 10 fois plus que l'acier. Les caractéristiques visuelles et fonctionnelles laissent place à l'interprétation et rendent l'évaluation difficile.

Soutien administratif

Comme la compagnie éprouvait certains problèmes de qualité, de productivité, les administrateurs étaient à la recherche d'un moyen ou d'une approche pour diagnostiquer les problèmes et les régler. Ce fut le calcul du coût de la qualité qui détermina réellement où était les vrais problèmes et la stratégie à adopter pour les régler.

La direction de la compagnie décida alors d'implanter le Contrôle statistique de la qualité et d'investir davantage dans la prévention de la mauvaise qualité plutôt que dans l'inspection. Une firme de consultants fut engagée pour donner un soutien technique.

Pour améliorer l'efficacité du Contrôle de la qualité on a dû effectuer certains changements au niveau organisationnel de la compagnie. Le niveau hiérarchique du directeur du Contrôle de la qualité fut changé pour qu'il soit au même niveau que les directeurs de production, de l'ingénierie et du marketing, directement sous la responsabilité du président.

Plan d'inspection et d'essais

Pour faire une bonne gestion de la qualité, il est très important d'utiliser un plan d'inspections et d'essais approprié. Nous avons mis l'accent sur les étapes suivantes en particulier:

a) Contrôle de la qualité des matières premières

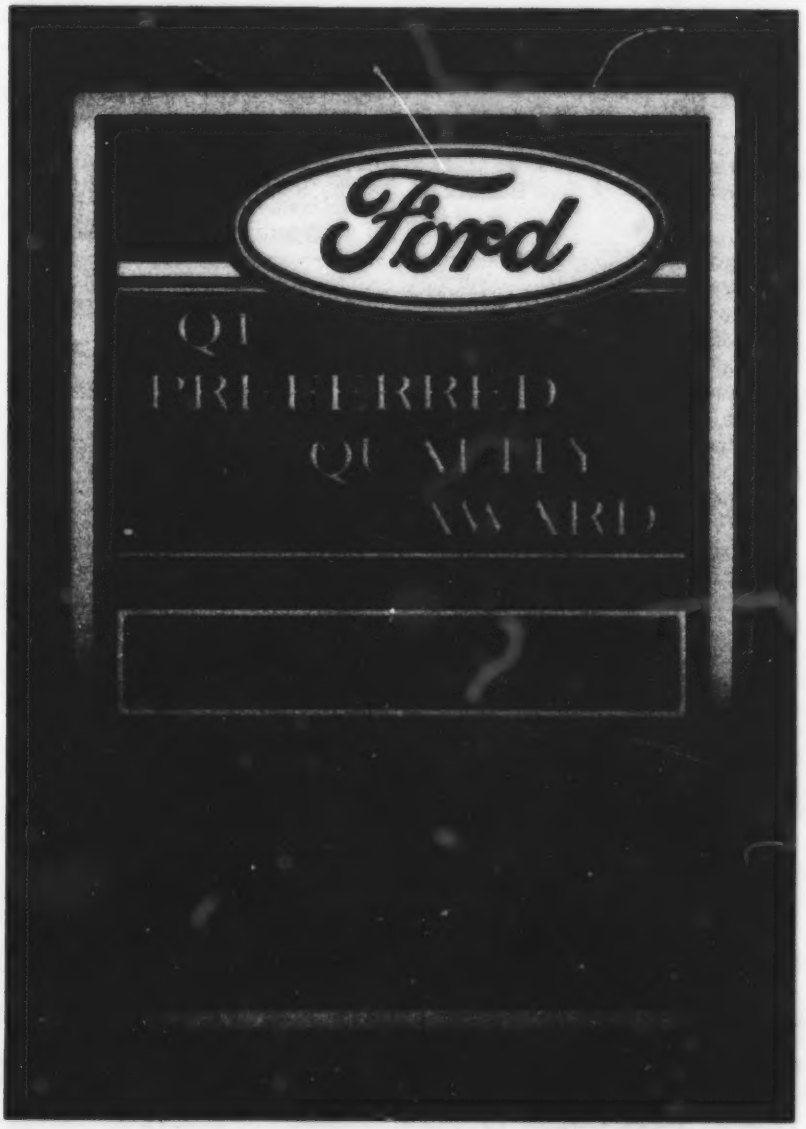
Pour la fabrication de pièces de qualité, il est essentiel que les matières premières utilisées soient d'excellente qualité. C'est pourquoi nous avons implanté un département de Contrôle de Qualité des matières premières. Chaque lot de matières reçu est échantillonné et vérifié conformément à des normes établies avec nos fournisseurs. Une évaluation des fournisseurs est faite.

b) Contrôle de la qualité des machines

Comme la qualité des machines est primordiale nous avons, à chaque année, des budgets d'immobilisation très élevés pour le remplacement de nos vieilles machines et pour la maintenance préventive de celles-ci.

c) Contrôle de la qualité des moules

Notre département de recherche et de développement, grâce aux expériences effectuées en laboratoire sur le moulage et sur les caractéristiques de retrait de différentes résines et grâce à la CAO/FAO améliore continuellement et optimise la conception des moules. Le contrôle de la qualité des moules est aussi fait à chaque étape de leur fabrication.



IPL est la première compagnie au Canada dans les plastiques à obtenir la mention Q1.

d) Qualité de la main-d'œuvre

Une plus grande motivation, un meilleur suivi, une meilleure évaluation et une meilleure sélection de nos employés a permis d'améliorer la qualité de notre personnel.

Manuel de la qualité; cycle de la qualité et normes

Un manuel de la qualité fut rédigé conformément aux normes ACNOR Z299.2, BNQ—9911—210, GNGC 101 et MILQ 9858A. Dans un commun accord de tous les départements nous avons établi les étapes du cycle de la qualité[1] et identifié les départements responsables d'exécuter chacune d'elle (figure 1). Comme il est essentiel de connaître précisément quelles sont les caractéristiques qu'un produit doit avoir pour satisfaire les besoins du client, nous avons revisé et précisé davantage les normes de qualité de nos produits.

Outils

Pour mieux diagnostiquer et identifier les problèmes et pour mieux contrôler la qualité nous utilisons les outils suivants:

a) Diagramme Pareto

Pour identifier les défauts les plus importants nous procédons à des analyses Pareto.

b) Histogramme

C'est par une représentation des résultats de mesure en histogramme que nous pourrons visualiser les variations du procédé.

c) Diagramme cause à effet

Le diagramme cause à effet est utilisé pour faire l'analyse des facteurs qui influencent la qualité (figure 2).

(1) Développé par Joseph Kélada, revue QUALITÉ, septembre 1981, p. 4.

d) Échantillonnage

Il est essentiel qu'un inspecteur fasse dans un lot un échantillonnage qui est représentatif de la population de pièces qui le comporte. Nous avons donc implanté un système d'échantillonnage au hasard avec des dés. La taille des échantillons est déterminée par la norme military standard 105—D et dépend de différents critères comme la grosseur du lot, le niveau de qualité désiré, l'historique du procédé.

e) Contrôle statistique du procédé

Le contrôle statistique du procédé est un outil de travail très puissant qui permet à la fois de bien mesurer la qualité et de prévenir statiquement l'évolution du procédé. Nous utilisons des cartes de contrôle P et U pour les caractéristiques visuelles et X,R pour les caractéristiques dimensionnelles.

f) Suivi des actions correctives

Il est très important que l'information qui ressort des cartes de contrôle soit transmise le plus rapidement possible et que les actions correctives soit exécutées pour prévenir ou corriger les défauts.

g) Coût de la qualité

C'est le calcul du coût de la qualité qui nous a servi pour décider de la stratégie, pour diminuer les coûts des défauts. En 1981, le coût de la qualité s'élevait à 11% des ventes soit 3,5 millions de dollars. Les frais des défaillances internes et externes représentaient 85% des coûts. Pour diminuer le coût de la qualité nous avons utilisé le graphique des coûts (figure 3) et nous avons investi dans l'évaluation et la prévention par le contrôle statistique de la qualité. Jusqu'à présent, le coût de la qualité a baissé à 8% des ventes et nous prévoyons 5% d'ici 1 an.

Autres changements

Pour l'implantation du contrôle statistique de la qualité nous avons dû agrandir le département de tests techniques et ajouter une salle d'inspection. Notre salle de méthologie fut améliorée et un plan d'étalonnage des instruments a été mis en force. Dans le but d'évaluer les performances de nos produits, des techniciens effectuent régulièrement des tests techniques comme la résistance aux chocs, la résistance à l'écrasement, la résistance à la chaleur et au froid etc...

Motivation au contrôle de qualité

Il est universellement reconnu que des individus fortement motivés vont produire des articles de meilleure qualité. Pour augmenter la motivation nous utilisons les moyens suivants:

a) Formation du personnel

Nous pensons qu'il est très important de continuellement former des employés. Nous avons des budgets de plus de $250.000 par année pour former le personnel de la compagnie à tous les niveaux. Nous avons mis sur pied un programme de formation à la gestion de la qualité pour tous les échelons de la compagnie. Des cours furent organisés pour les directeurs des départements, les contremaîtres, les contrôleurs de la qualité et les opérateurs afin que l'implantation soit globale.

b) Cercles de qualité

Nous avons en opération trois cercles de qualité dont deux dans des départements syndiqués et un dans les bureaux. Ce cercle de qualité existe depuis environ un an et les résultats obtenus sont très satisfaisants. Nous comptons en ajouter au moins trois autres d'ici peu, car nous pensons que ceux-ci vont directement améliorer la motivation du personnel et les bonnes relations entre patrons et employés.

c) Communications

La direction de la compagnie préconise les communications directes entre les différents niveaux de la compagnie. Nous mettons beaucoup l'accent sur le contrôle des documents pour que toute l'information relative à la gestion de la qualité soit transmise adéquatement à ceux qui en ont besoin. C'est aussi par la participation aux décisions que les employés sont revalorisés et s'impliquent davantage pour résoudre les problèmes.

Fiabilité du procédé

La meilleure façon de bien gérer la qualité est de la fabriquer du premier coup directement dans le produit. C'est pour cette raison que nous avons formé

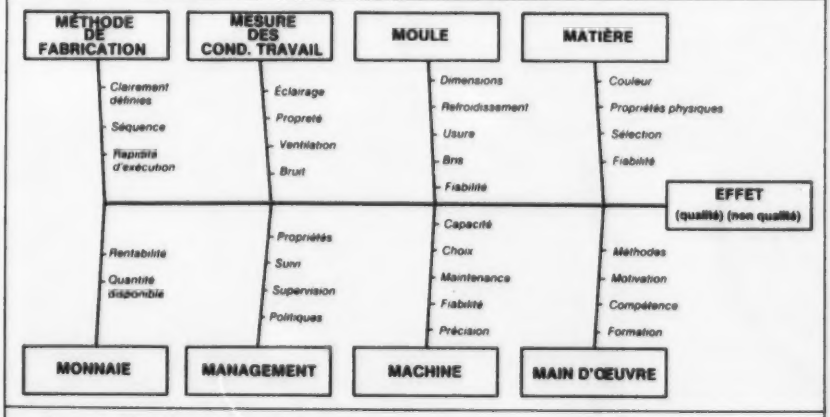


Figure 2: Diagramme cause-effet

Johnson & Johnson
INC.

MONTRÉAL, TORONTO & VANCOUVER - CANADA

Warnock Hersey

- Inspection d'usines
- Essais non destructifs
- Essais de matériaux
- Calibrage
- Analyses chimiques
- Essais de soudure selon les normes
- Essais métallographiques
- Analyses de défaillances
- Essais de fonçage, essais thermiques et mécaniques
- Essais d'isolation thermique et résistance au feu
- Inspection des organismes
- Assurance de la qualité

Les Laboratoires Ville Marie Inc.

LVM/QUALITECH

CONTRÔLE DE MATÉRIAUX
GÉOTECHNIQUE
GESTION DE LA QUALITÉ

ÉTUDES
SURVEILLANCE
INSPECTION
ESSAIS
RELANCE

1200, boul. St-Martin ouest, Laval, Québec H7S 2E4
Tél. (514) 384-7970 Telex 05-268873
384-4490

MONTREAL
ROUYN
ST-EUSTACHE

QUALITECH
CONSULTANTS LTÉE

IBM
IBM Canada Ltée

SOGEQUA
Consultants, gestion de la qualité

GESTION DE LA QUALITÉ

CONSULTATION
Audits — Évaluation de fournisseurs
Évaluation — Rédaction de manuels
SURVEILLANCE
INSPECTION

325, de l'Espinay
QUÉBEC, Québec G1L 2J2
418/847-1402
Telex: 051-3085

665 chemin du lac
Boucherville
Montréal, Québec J4B 6W8
514-641-1740

Gilles Coulombe,
vice-président, dir. gén

Les Consultants industriels S.M. inc.
Labo S.M. inc.

CONSULTATION EN GENIE INDUSTRIEL
Implantation et amélioration de procédés — Economie d'énergie
Achat d'équipement et étude de rentabilité
Economie d'énergie — Evaluation de la productivité

SERVICE D'ASSURANCE-QUALITE
Audits — Evaluation de fournisseurs — Surveillance, inspection et relance
Rédaction de manuels d'assurance-qualité
Elaboration de procédures de travail, de contrôle et d'essai.

SERVICES SPECIAUX
Essais non destructifs
Analyse de la qualité de l'air en milieu de travail
Procédures relatives à la sécurité industrielle

345, RUE BOUCHERVILLE
SHERBROOKE (QUEBEC) J1L 1X6
TELEPHONE (819) 566-8855
SANS FRAIS 1-800-567-6135

2545, AVENUE DELORIMIER
LONGUEUIL (QUEBEC) J4K 3P7
TELEPHONE (514) 651-0981
TELEX 05-268796

DU PONT
CANADA

LE NOM QUI INSPIRE CONFIANCE

C.P. 660, Sta. "A", Montréal, Québec, H3C 2V1

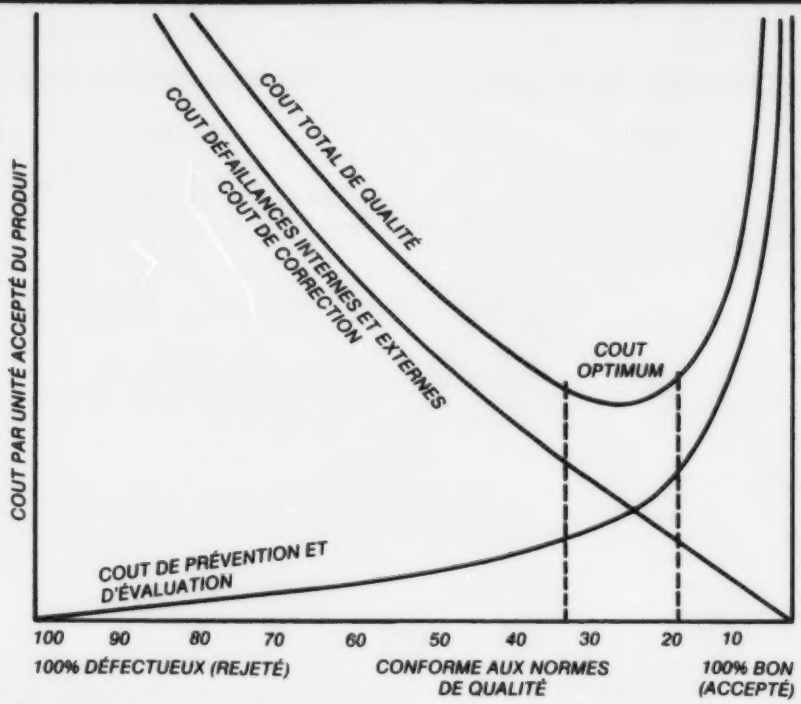


Figure 3: Coût optimum de la qualité

une équipe de techniciens en fiabilité qui étudie les procédés de fabrication dans le but de réduire la variation autour de la qualité idéale que nous désirons obtenir. Notre philosophie est telle que nous ne serons jamais pleinement satisfaits de ce que nous obtenons. Nous essaierons toujours d'améliorer la fiabilité du procédé. Nous formerons d'autres équipes de fiabilité et nous pensons ainsi être capable de diminuer le nombre d'inspecteurs car nous aurons de moins en moins de défauts de la qualité dans l'échantillonnage et nous pourrons réduire la fréquence d'inspection.

Assurance de la qualité

C'est par une bonne coordination des différents départements que nous réussissons à planifier toutes les activités nécessaires pour avoir un contrôle efficace de la qualité et pour que les produits fabriqués ou les services soient conformes aux besoins de nos clients. Nous mettons l'accent sur la prévention plutôt que sur le contrôle pour fabriquer la qualité du premier coup.

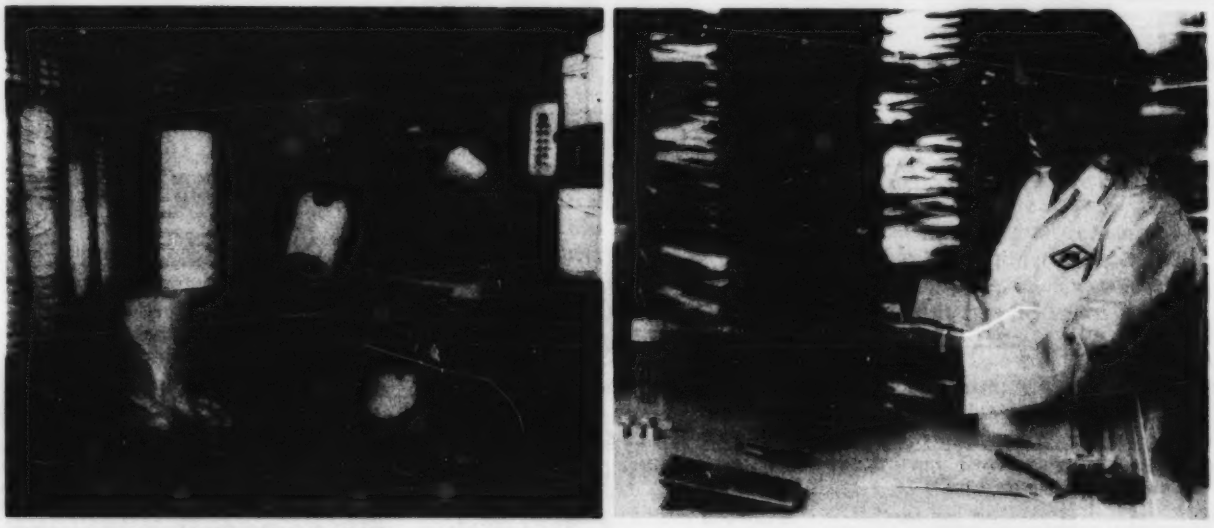
Dilemme qualité/quantité

Il arrive souvent dans une entreprise industrielle qu'il y ait un conflit entre quantité et qualité. C'est en visant la qualité qu'il est possible d'améliorer la fiabilité du procédé, réduire les rejets et de produire plus rapidement. C'est donc en visant la qualité qu'on obtient la quantité. On peut dire que si on réduit de 1% les rejets on peut augmenter la productivité d'au moins 10%.

Conclusion

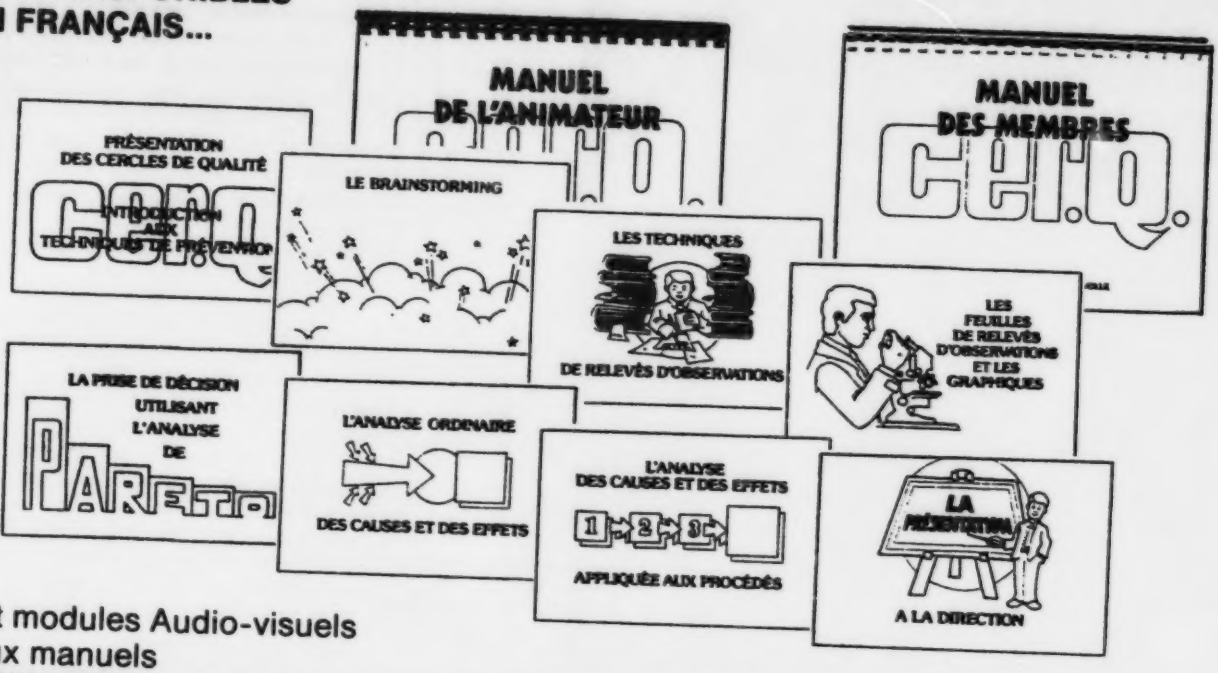
Nous sommes convaincus que c'est par une bonne gestion de la qualité que toute compagnie peut améliorer sa productivité et devenir plus concurrentielle tant au niveau de la qualité que du prix. Il est très important que la gestion de la qualité soit globale dans la compagnie et que tous les départements et l'administration comprennent bien le rôle qu'ils ont à jouer. Il ne faut jamais se contenter de performances de qualité obtenues et toujours tendre vers la perfection, non pas en inspectant d'une manière très rigoureuse, mais en fabriquant la qualité directement dans un produit avec le minimum de variations d'une pièce à l'autre.

Le calcul du coût de la qualité est un outil indispensable qui nous a servi pour nous orienter dans notre gestion de la qualité. C'est grâce à celui-ci que l'on peut décider si l'on peut investir davantage dans la prévention et le contrôle et c'est le système d'alarme de la compagnie qui entre en action à la moindre anomalie de fonctionnement. Par notre expérience à ce jour, nous avons démontré et nous sommes convaincus que *la Qualité c'est rentable.* •



C'est en visant la qualité qu'on obtient la quantité.

ENFIN DISPONIBLES EN FRANÇAIS...



Huit modules Audio-visuels
Deux manuels
FORMATION AUX OUTILS DES CERCLES DE QUALITÉ
Pour information: Écrire à la revue QUALITÉ ou composer (514) 684-4145

TECHNITROL CANADA Ltée/Ltd.

Analyses chimiques
Tests physiques et mécaniques
Etudes de pollution d'eau et d'air
Vérification de produits pétroliers
Analyses de défaillances métallurgiques
Surveillance des aliments et des drogues
Enquêtes techniques
Essais de textiles

121 BOUL. HYMUS, POINTE-CLAIRE (QUÉBEC) H9R 1E6
TÉLÉPHONE (514) 697-3273 **TÉLEX 05-82254**

CARMEL, FYEN, JACQUES & ASSOCIÉS INC.
CONSULTANTS

Fondations & Structures
Études techniques — Expertises
Plans — Devis — Surveillance

700 ouest, boul. Crémazie, Suite 100, Montréal H3N 1A1
Tél. : 274-5671

GENEQ inc.
7978 est, rue Jarry, Anjou, Qué. H1J 1H5
Tél.: (514) 354-2511 Télex: 05-829568

Équipement d'essais et de mesures
Testing and measuring equipment

maurice parisé
président

QUAFEC

production de revues, journaux d'entreprise, etc.
prix comptétitifs, qualité exceptionnelle

1424 HYMUS — SUITE 2, DORVAL (QUÉ.) H9P 1J6

Compagnie française du cristal, unité de Bayel

par: Didier Carabel et Patrick Lailler

La Cristallerie de Bayel fait partie depuis 1970 du groupe Compagnie Française du Cristal Daum qui détient la première place de la production française de Cristal et de Cristallin. Fondée en 1666, c'est essentiellement une industrie de main-d'œuvre très spécialisée, de tradition artisanale.

La Cristallerie de Bayel fabrique principalement des articles en cristal pour la table, le flaconnage de luxe et l'ornementation, plus connus sous les appellations des normes de choix, comme par exemple: Cristal de Sèvres, Cristallerie Royale de Champagne. Ces articles sont tous soufflés à la bouche et travaillés à la main.

En 1981, le groupe a dû faire face à de nombreuses difficultés et un plan de restructuration a été mis en place à la suite du dépôt de bilan. L'unité de Bayel a maintenu son activité et était «condamnée» à réussir. Elle représente en effet la seule industrie du village où elle est implantée et une liquidation de biens était impensable pour un personnel attaché à ses traditions verrières et à l'Entreprise.

Pour retrouver son équilibre la Cristallerie ne pouvait augmenter ses prix de vente sur un marché fortement concurrencé par les verreries mécaniques. C'était donc de l'intérieur qu'il était nécessaire de mener une action pour permettre à l'entreprise de stabiliser ses prix tout en augmentant ses marges bénéficiaires. Cette action décidée en 1983 par Mr Deas, Directeur de l'Usine fut programmée en deux étapes: Fin 1983, réalisation d'un diagnostic qui a permis de chiffrer les coûts qualité et de déceler les faiblesses dans l'organisation de l'usine. À partir de 1984 mise en place d'un plan amélioration de la qualité en mobilisant les femmes et les hommes de l'Entreprise pour résorber les défaillances internes et en insistant surtout sur son caractère particulier.

Il est d'ailleurs prévu qu'en 1985, la Compagnie Française du Cristal sans autre aide extérieure que sa propre conviction dans l'amélioration de sa Qualité, signe un concordat et redevienne un groupe normal et plein d'ambitions.

Le diagnostic

Sans revenir sur les éléments négatifs qui ont permis de décider des actions à mener, il est utile de souligner deux points complémentaires. Le premier concerne l'évaluation des coûts qualité. En 1982, base de l'étude, les coûts Qualité de la Cristallerie ont été évalués à 33,6% du chiffre d'affaires. C'est l'une des valeurs les plus élevées rencontrée dans de pareilles enquêtes.

L'origine principale de ces coûts réside dans la nature même des produits et leur processus de fabrication. En effet, pour chaque verre fabriqué, il faut souffler à la bouche une sorte de ballon appelé paraison. Seuls les 2/3 du cristal seront conservés pour créer la partie utile du produit (le contenant). Le reste est alors rebroyé et recyclé.

Le second point concerne le coût du recyclage. L'idée que le verre récupéré «ne coûte rien» était solidement ancrée dans l'esprit de l'ensemble du personnel et de l'encadrement. Or il a été montré que la plus value sur le produit recyclé représentait les 230% de la matière première neuve enfournée. La valorisation des rebuts a donc fait partie des actions du programme d'amélioration de la qualité.

Le Programme d'amélioration de la qualité.

Engagé sous l'impulsion du Directeur en 1984 le programme d'amélioration de la qualité se poursuit encore aujourd'hui. Pour tenir compte de la nature de l'entreprise qui peut être qualifiée «d'artisanat industriel», les principes d'amélioration de la qualité ont été adaptés à une méthode de gestion participative: le P.R.O.M.C.

Le P.R.O.M.C.:

P *comme Politique*

La volonté de la Direction a fait l'objet d'un document écrit et remis au personnel sous forme de lettre nominative. Cette politique fut commentée au cours de réunions d'information et de sensibilisation. Les réunions ont eu lieu par secteurs de production en septembre 1984 et février 1985.

R *comme Responsabilités*

Étant donné que chacun de nous peut être à l'origine d'erreurs, une véritable structure de participation a été créée.

Dans un premier temps M. Guy Harand a été nommé responsable de la

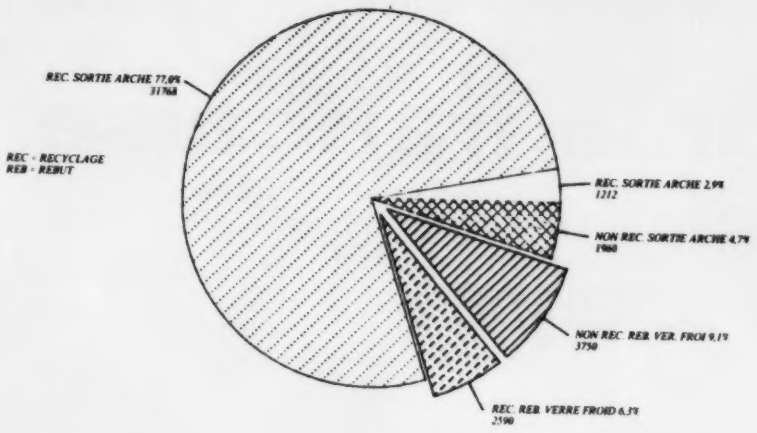


Figure 1: Répartition en poids des pertes en production

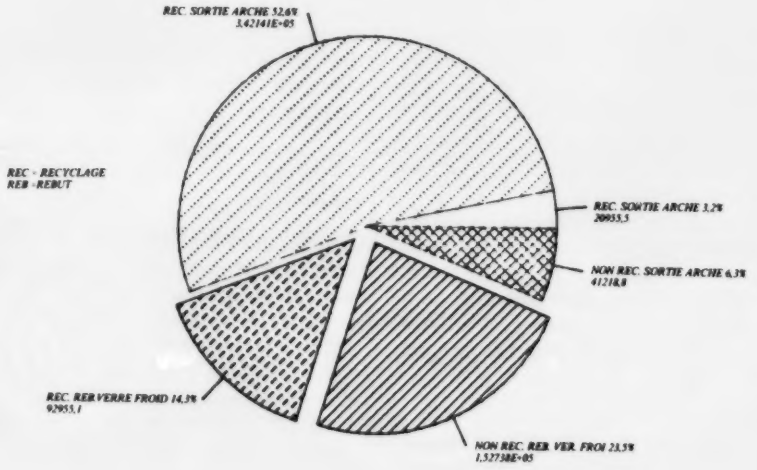


Figure 2: Répartition des coûts, des pertes en production

fonction Qualité. Très vite, l'équipe fut renforcée par l'arrivée de M. S. Guiller pour le traitement de l'information sur micro ordinateur. Puis un Comité d'amélioration de la qualité fut officiellement créé. Ce Comité présidé par M. Deas comprend 8 membres permanents (MM. G. Harand, S. Guiller, J.J. Harand, C. Courtalon, C. Jossier, C. Monne, C. Blatter, N. Mongin).

Enfin dans le cadre des actions décidées par le Comité, des groupes de travaux furent mis en place. En particulier un groupe a eu pour mission de modifier le système d'enregistrement des avis de la clientèle afin de vérifier l'adéquation entre le niveau de qualité attendu et la spécification de production. D'autres groupes ont travaillé avec le concours du personnel de production à la revue de la définition des produits et des procédés de fabrication dans le but de fournir à l'atelier les moyens organisationnels et documentaires nécessaires à la réalisation correcte du travail et ce dès la première fois.

O *comme Objectifs*

Le programme de travail défini en commun a pour objectif général la performance à 100% qui n'élimine pas pour autant le droit à l'erreur mais qui exige la recherche et l'élimination des causes d'erreur.

Le plan d'action vise dans une première phase une diminution de 20% des pertes en production afin d'améliorer la performance de l'entreprise et de transformer ainsi chaque point de défaillance en point de marge par la prévention des défauts.

M *comme Moyens*

Peu d'investissements furent nécessaires pour lancer le programme. Trois axes ont été choisis: l'appui d'un conseil extérieur, la formation du personnel et le traitement de l'information. La formation aux outils de la qualité et l'application des techniques d'analyse au sein des groupes de travail ont permis de progresser sur des points essentiels. Comme par exemple la rédaction d'un cahier des charges pour les normes de choix, la recherche de solutions aux défauts de bouillons de cueillage (bulles dans le cristal qui se forment lors du prélèvement de verre dans le four) etc...

Cette formation fut complétée récemment par un stage d'animation de groupe et de techniques de communication destiné à l'encadrement et à la maîtrise. L'acquisition d'un micro-ordinateur HP 150 avec imprimante et table traçante a permis de traiter rapidement les données enregistrées et l'accent a particulièrement été mis sur la notion de coût pour visualiser les résultats comme le montre l'exemple des fig. 1 et 2.

Dans cet exemple 15,4% des pertes de production en tonnage (rebuts verre froid), figurés par les deux zones hachurées en traits pleins et traits discontinus représentaient près de 40% des pertes en coûts. Les autres moyens utilisés pour améliorer la qualité furent recherchés parmi les ressources disponibles. Même le club sportif du village a contribué aux différentes actions en mettant son matériel vidéo à la disposition du Comité et du service qualité. Ce matériel a servi à l'analyse des causes d'erreurs sur le poste «platine» avec les titulaires du poste.

C *comme Contrôle*

Pour maitriser l'organisation de la Qualité et vérifier l'efficacité des actions,

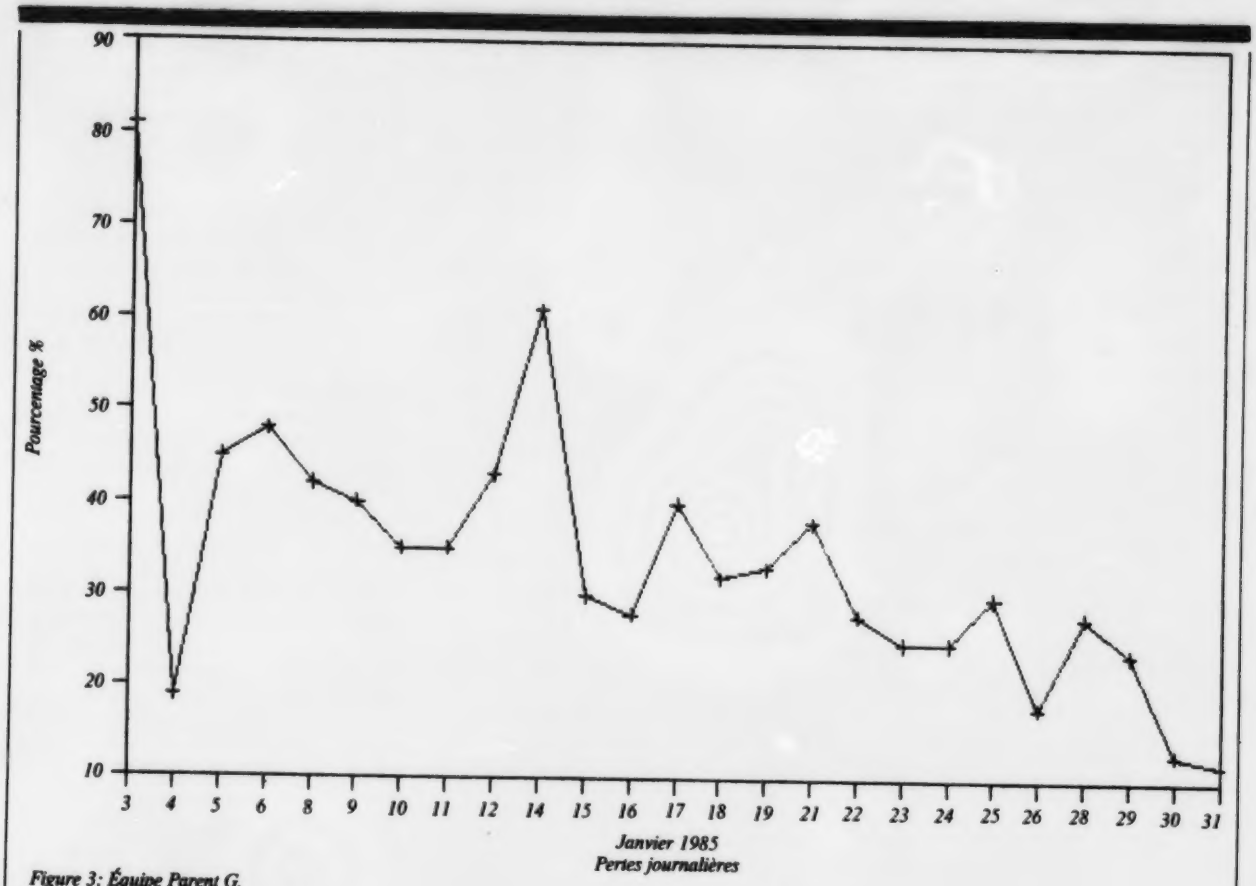
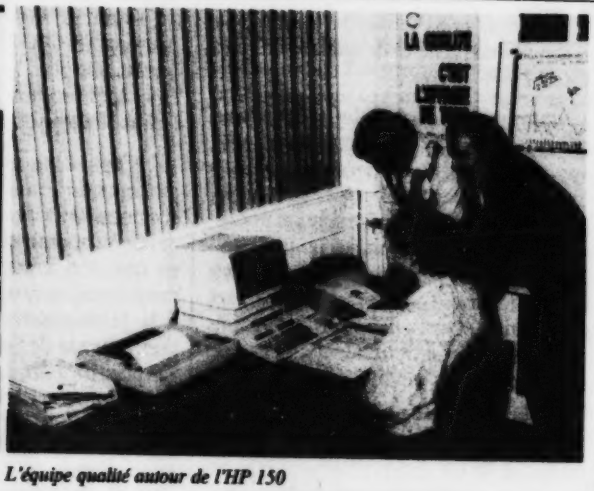


Figure 3: Équipe Parent G.
Pertes production

Réunion de sensibilisation à la qualité



L'équipe qualité autour de l'HP 150

le Comité s'est doté d'un tableau de bord qualité, véritable outil de décision. D'autre part, les principaux postes de travail sont informés quoditiennement sur la qualité de réalisation de leurs articles à l'aide de graphiques fournis par le service Qualité. Enfin la prise en compte des différentes causes de défauts par le personnel contribue à assurer un meilleur auto contrôle intégré au plan de contrôle de l'Entreprise.

L'avenir

Les résultats acquis aujourd'hui prouvent que les actions entreprises dans les secteurs concernés sont efficaces. Dès la mise en place des groupes, la production s'est améliorée grâce au travail de chacun (figure 3). Les gains obtenus représentent 10 à 20% selon la nature des articles fabriqués.

Les résultats financiers de 1984 (compte d'exploitation positif) et la signature d'un concordat en 1985 montrent que le pari de CFC sera bientôt gagné et que les ambitions de l'entreprise sont à la hauteur de son personnel pour maintenir sa compétitivité. •

En bref

La gestion de la qualité: une priorité

Huguette Jolicœur
Vice-présidente
Produits Progressifs Ltée (Québec)

Il y a dix-huit ans, nous décidions de nous lancer dans la fabrication d'instruments médicaux. Nous avions établi, au départ, que notre seule chance de survie dans un marché très compétitif était de réaliser des produits de haute qualité. C'est ce que nous avons fait effectivement et continuons de faire. Avec le temps et l'expérience nous devenons même plus exigeants, nos critères de qualité sont plus sévères.

Nos produits sont fabriqués dans un environnement rigoureusement contrôlé, approuvé par le Ministère des aliments et drogues du Canada. De plus, nous appliquons des méthodes de fabrication éprouvées et surveillons la qualité, nous travaillons ainsi en suivant les «bonnes pratiques de fabrication». Avec un équipement automatisé et robotisé nous atteignons une combinaison optimale au niveau de l'efficacité, de la qualité, des coûts et du service.

Nous transformons en produit fini stérile, de la matière première et ce, à un niveau de qualité respectant des critères des plus rigoureux. Ce niveau de qualité est atteint et maintenu grâce à un personnel compétent et des installations à la fine pointe de la technologie.

Mais pour produire et maintenir de si hauts niveaux de qualité il faut plus que de la compétence et de la technologie; cette qualité requiert une formation permanente et la participation active d'une personne motivée et responsable pour que la qualité devienne une constante préoccupation, une obsession...

Assurance de la qualité dans la p.m.e.

M. Joseph Kélada a obtenu de l'École des H.E.C. une année sabbatique. Cette année sera consacrée à une étude portant sur l'introduction de l'assurance de la qualité dans les p.m.e. Comme on le sait, les grands donneurs d'ordres (Hydro-Québec, Bombardier, General Motors,...) exigent que leurs fournisseurs se dotent de systèmes capables d'assurer à ces compagnies des pièces et des produits de qualité. De plus, toute entreprise qui veut lancer ses produits sur les marchés internationaux doit se doter d'un tel système.

Cependant, ce système est perçu par plusieurs dirigeants de petites entreprises comme une exigence bureaucratique qui ne fait qu'augmenter la paperasse. L'étude en question a pour but d'examiner les moyens nécessaires à la sensibilisation et à la familiarisation de ces dirigeants à l'importance de l'assurance de la qualité. De plus, il s'agira de proposer des moyens pour l'implantation de tels systèmes dans ces entreprises. En effet, celles-ci ne peuvent pas se permettre le personnel spécialisé et qualifié nécessaire à l'élaboration et à la mise en œuvre d'un système d'assurance de la qualité.

Le congrès annuel de la qualité

Comme on pourra le lire plus loin ce congrès a été un franc succès. L'Association québécoise de la qualité a confié à notre équipe de production la responsabilité de réaliser, en édition de luxe, les actes de ce congrès. Ceux qui n'auraient pas assisté à cet événement peuvent en commander une copie de cette édition spéciale (tél.: 684-4145), en écrivant au secrétariat de la revue ou à celui de l'A.Q.Q. (tél.: 353-7191).

M. Chauvel à l'honneur

M. Alain Chauvel a reçu de l'American Society for Quality Control le titre de Fellow. Le président de cette association justifie cette nomination comme suit:

En raison de son immense dévouement au progrès constant de la gestion de la qualité, de même que pour ses nombreuses contributions sous forme de livres et d'articles, et en tant que professeur et conférencier sur la scène internationale.

L'équipe de la revue Qualité profite de cette occasion pour féliciter M. Chauvel, qui est son vice-président international.

Relations économiques Québec-France

Christian Flament
Président-Directeur Général
Société Erdimat

Les relations économiques entre le Québec et la France s'insèrent dans un contexte tout à fait privilégié. La communauté de langue est un atout considérable qui leur permet de travailler avec plus de facilité.

L'amélioration de nos échanges commerciaux demeure une préoccupation constante des gouvernements québécois et français qui accordent une large place au développement industriel, scientifique et technique. La conjoncture économique de la France, au cours de ces deux dernières années, a fait sensiblement fléchir les exportations québécoises, mais la véritable signification de nos relations prend effet sur une longue période.

Chaque année, on enregistre plusieurs créations d'entreprises franco-québécoises. Leurs réalisations s'effectuent selon divers types de contrats ou par injection de capitaux. Dans l'ensemble, il s'agit d'accords concernant des produits déjà existants, qu'il s'agisse de transfert de technologie ou de fabrication sous licence. Ils touchent des secteurs très variés, comme le bâtiment, les ponts et chaussées, l'environnement, la manutention, la gériatrie informatique.

La recherche technologique est surtout réalisée au profit des petites et moyenne entreprises qui ne disposent pas de budgets pour la recherche et le développement. Cette recherche tend à rapprocher les p.m.e. des deux pays pour la création et la commercialisation de nouveaux produits.

La promotion des coopérations industrielles et technologiques est faite par la section québécoise C.Q.C.I. Ce centre a pour objectifs d'effectuer des études dans des domaines prioritaires et d'accorder une assistance à la préparation des missions.

La valeur des exportations québécoises, à destination de la France, passe de 201,9 millions de dollars, en 1979, à 260,6 millions de dollars, en 1983. On note ainsi, pour cette période, une légère hausse de ces exportations.

En matière d'importation, la part du Québec s'élève à 53,9% en 1983. La performance du Québec, dans ses échanges commerciaux avec la France, dépasse, toutes proportions gardées, celle du Canada.

Il est indéniable que les Québécois se présentent comme des partenaires fiables sur lesquels les chefs d'entreprise français peuvent compter.

Vient de paraître

Gestion de la qualité dans la construction
Éditions Eyrolles, 1984, 180 pages

Ce livre est écrit par A.M. Chauvel et M. Pouvreau ainsi que Y. André, G. Antiq, Y. Le Sellin et M. Mingasson. C'est le premier livre français qui traite de la gestion de la qualité dans la construction, cette usine nomade dans le monde qui bâtit pour les citadins les villes et les industries de demain. La première partie du livre traite des notions élémentaires de la gestion de la qualité. Par la suite, les auteurs consacrent un chapitre important aux coûts de la qualité et à la motivation. Ils traitent aussi du contrôle de l'exécution des travaux mais insistent sur la nécessité économique de porter les efforts préventifs sur la phase de conception et sur le marché des fournisseurs.

Gestion de la Qualité dans la construction

par A. Chauvel et M. Pouvreau
Y. André, G. Antiq
Y. Le Sellin, M. Mingasson

Édition Eyrolles, 1984

Un chapitre y est aussi consacré à l'assurance de la qualité. Les auteurs indiquent ce qu'il est nécessaire de prévoir et de faire pour une maîtrise totale de la qualité. Le livre se termine sur les avantages de la gestion de la qualité et concluent: la qualité est un investissement rentable.

Bien que le livre s'adresse spécifiquement au secteur de la construction, il contient les notions de bases nécessaires à tout système de gestion de la qualité, applicables à tous les secteurs.

Le Kremlin sévit contre la non-qualité

Le journal montréalais La Gazette rapportait, en date du 10 avril dernier, que les dirigeants de magasins et d'usines, responsables de la vente de produits de mauvaise qualité au public risquent les camps de travail! Ceci fait partie des efforts de M. Gorbatchev pour l'amélioration de l'efficacité en Union Soviétique.

La cour suprême de ce pays vient d'émettre des instructions aux tribunaux, élargissant la responsabilité criminelle concernant la production ou la vente de produit défectueux ou mal finis. Ceux qui seraient impliqués dans la production de tels produits ou dans leur vente seront tenus criminellement responsables, que l'erreur soit volontaire ou due à de la négligence, affirmait M. Vladimir Terebilov qui préside cette cour.

Les directeurs de magasins qui acceptent de tels produits et les directeurs d'usine qui acceptent des matières premières de mauvaise qualité de leurs fournisseurs subiront les mêmes mesures punitives.

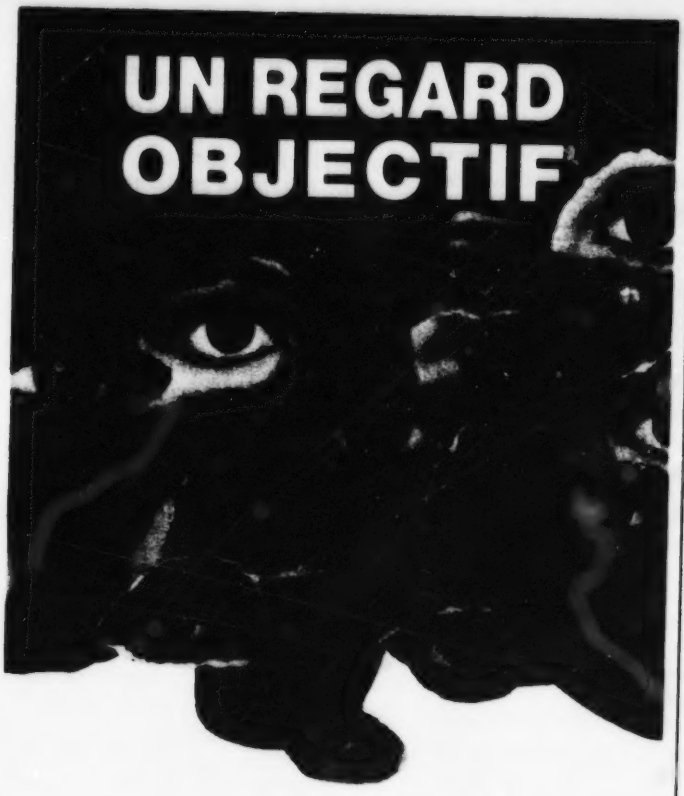
La nouvelle ne dit pas si les Soviétiques ont essayé les cercles de qualité.

Programme de reconnaissance de la qualité chez CANADAIR

Dans sa publication «Ici Canadair» de juin 1985, que nous fait parvenir M. R. Tétreault, directeur de la gestion des matières, un programme de reconnaissance de la qualité est lancé. À la fin de chaque mois. Les sommes dépensées par un service pour cause de mise au rebut ou de réusinage de pièces seront divisées par les coûts de la main-d'œuvre de ce service. Ce rapport, exprimé en pourcentage, sera comparé à celui du mois précédent afin de connaître l'amélioration relative de la qualité dans chaque service. Chaque service sera donc comparé à lui-même et non aux autres.

1 canadair QUALITÉ·QUALITY

Le service qui aura la meilleure amélioration en pourcentage sera déclaré le service No. 1. Les membres de ce service recevront, entre autres, une attestation d'excellence. Une bannière rouge identifiera ce service. Tous les services qui auront atteint l'objectif du mois recevront une bannière bleue. Pour avoir droit à la bannière rouge il faudra au préalable avoir obtenu une bannière bleue.



Le bon produit au meilleur coût, tel est le but de la gestion de la qualité.

SOCOTEC vous propose de réaliser le diagnostic qualité de votre entreprise : un regard objectif pour engager un programme d'amélioration de la qualité indispensable à toute gestion efficace et performante.

SOCOTEC

Tour Maine-Montparnasse
33, avenue du Maine
75755 PARIS
Tél. (3) 043.99.13

100 Agences en France 50 Centres à l'étranger

La PME au Québec

On estime le nombre total de PME au Québec à 240 000. La majorité de ces entreprises sont constituées en sociétés («incorporées»), mais le nombre des entreprises uniquement «enregistrées» reste très élevé. «En 1976, dit Yvon Gasse, vice-doyen de la Faculté des sciences de l'administration à l'Université Laval, sur 1 000 075 PME dans tout le Canada, 321 000 entreprises n'étaient pas constituées en sociétés, et 325 000 l'étaient. Les professions libérales et autonomes composaient le reste des entreprises.»

Les entreprises non constituées en sociétés, qu'on trouve surtout dans le secteur des services, avaient un chiffre de ventes de 28 milliards de dollars seulement, alors que celui des entreprises consitutées en sociétés était de 347 milliards.

Au fait, il existe une variété surprenante de définitions du mot PME. Celle la plus généralement acceptée est la suivante: «La PME est une organisation d'une taille relativement restreinte, n'ayant pas de prépondérance dans son domaine d'activités et dont les dirigeants, le plus souvent propriétaires, jouissent d'une grande autonomie décisionnelle.» Dans la pratique, on se fonde essentiellement sur le nombre d'employés: l'entreprise est artisanale si elle a entre 0 et 4 employés; petite, entre 5 et 49 employés; moyenne, entre 50 et 199; grosse, entre 200 et 499; très grosse, à partir de 500 employés.

Un rôle essentiel

Les PME jouent un rôle majeur dans l'économie canadienne, où plus de 80% des établissements d'affaires ont moins de 100 employés. Selon le Profil statistique de la petite entreprise au Canada, paru en 1981, ces entreprises fournissent près de 50% du produit national brut et emploient sur une base régulière au moint 60% de la main-d'œuvre active. «Tous les économistes s'entendent pour dire qu'un emploi dans le secteur manufacturier a un effet multiplicateur de 3 ou 5. De plus, ce secteur, parce qu'il exporte, fait entrer de l'argent neuf», dit Yvon Gasse.

Souplesse et indépendance

«Si j'avais à caractériser la PME, continue Yvon Gasse, je dirais que c'est en premier lieu une entreprise gérée de façon plus intuitive que rationnelle. Mais je tiens à souligner que cela n'est pas nécessairement mauvais: selon la taille et le secteur, une structure trop rigide enlèverait à la PME sa flexibilité proverbiale. Deuxièmement, c'est une entreprise indépendante. Au Québec, contrairement à maintes PME françaises et belges, la PME typique n'est pas une succursale d'une grande compagnie.»

Baromètres de l'esprit d'entreprise, les PME sont à la base de la dynamique industrielle d'un milieu. Gérald d'Ambroise écrivait en 1982: «Les PME assurent à plusieurs grands fabricants une capacité supplémentaire rapidement accessible par l'acceptation de travaux en sous-traitance; la promptitude légendaire des PME à réagir à certaines indications du marché permet de remplir sans trop de délais les interstices de l'activité économique au fur et à mesure qu'ils apparaissent; elles aident aussi à maintenir dans plusieurs secteurs industriels des conditions d'une concurrence acceptable.»

Tiré de: Entreprise, mai 1985

ASSOCIATION QUÉBÉCOISE DE LA QUALITÉ
7744 est, Sherbrooke, 2ième étage
Montréal, Québec
C.P. 557, Station K, Montréal, H1N 3R2
Téléphone: (514) 353-7191

Activités et Nouvelles

Lettre de M. Rodrigue Biron au président AQQ

Cher Monsieur,

Le Ministère de l'Industrie et du Commerce est heureux d'appuyer l'Association Québécoise de la Qualité dans la réalisation de son Congrès annuel qui, cette année, portera sur la rentabilité de la gestion de la qualité.

À mon vif regret, d'autres engagements ne me permettent pas d'accepter votre invitation à participer à votre Congrès et de m'adresser aux dirigeants d'entreprise et aux professionnels, à l'occasion du dîner-causerie. Je vous prierais, par conséquent, de leur faire part de l'intérêt que mon Ministère porte à la gestion de la qualité et aux travaux de votre Association.

En effet, comme le démontreront les sujets présentés par les conférenciers et les discussions en ateliers, l'acceptation d'un produit industriel sur les marchés domestiques et étrangers et la rentabilité de l'entreprise dépendent, non seulement du prix de vente, mais, de plus en plus, de la qualité du produit: qualité de sa conception, qualité de sa fabrication et du service après vente. Dans ce contexte, la gestion de la qualité, qui motive la participation de tous les intervenants du système industriel, s'avère un «outil» essentiel à toute entreprise qui se veut dynamique et compétitive.

En vertu du Programme d'aide aux activités spécifiques des associations industrielles (PAASIQ), une subvention pouvant atteindre 22 500 $ vous est accordée pour défrayer une partie des coûts reliés à la réalisation de votre Congrès annuel 1985. Conformément au protocole d'entente conclu avec l'Association, vous trouverez sous pli, un chèque au montant de 15 000 $, constituant le premier versement de cette subvention.

Veuillez, Monsieur Caillibot, remercier et féliciter en mon nom, les organisateurs de ce Congrès, les dirigeants et les professionnels qui y présenteront leur point de vue et le fruit de leur expérience en matière de gestion de la qualité, ainsi que tous ceux qui participeront au Congrès. Assurez-les de l'entière collaboration de mon Ministère. Je compte sur leurs suggestions pour améliorer l'aide qui est accordée par le Québec à la mise en place et au développement des activités industrielles qui contribuent à la gestion et à la réalisation de la qualité.

Veuillez agréer, Monsieur Caillibot, l'expression de mes sentiments distingués.

Rodrigue Biron

Fiche d'inscription à l'A.Q.Q.

Je désire m'inscrire à l'A.Q.Q. en tant que

- ☐ Membre ÉTUDIANT 1 an 20,00 $
- ☐ Membre INDIVIDUEL 1 an 30,00 $
- ☐ Membre INSTITUTIONNEL 1 an 100,00 $/200,00 $
- ☐ Je dérise recevoir des renseignements sur l'A.Q.Q.

Nom .....

Adresse .....

Ville ..... Province ..... Code Postal .....

(Les étudiants et les membres individuels reçoivent trimestriellement la revue QUALITÉ sans frais additionnels. Les membres institutionnels en reçoivent trimestriellement deux copies sans frais.)

S.V.P. faire un chèque ou un mandat-poste à l'ordre de l'A.Q.Q., C.P. 557 Station K, Montréal Qué. H1N 3R2
Tél.: (514) 353-7191

MEMBRES INSTITUTIONNELS DE L'ASSOCIATION QUÉBÉCOISE DE LA QUALITÉ

ACIER SOLAC LTÉE
ALIMENTS CULINAR INC. DIVISION TAILLEFER
AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY CONTROL (MONTREAL SECTION)
ARECO ENR.
BANQUE NATIONALE DU CANADA
BEXEL INC.
BOMBARDIER INC. DIVISION DU TRANSPORT EN COMMUN, LA POCATIÈRE
BUREAU DE NORMALISATION DU QUÉBEC
CAMCO INC.
CEGEP DE TROIS-RIVIÈRES
CENTRE DE RECHERCHE INDUSTRIELLE DU QUÉBEC (CRIQ)
• CENTRE HOSPITALIER UNIVERSITAIRE DE SHERBROOKE
CENTRE QUÉBÉCOIS DE PRODUCTIVITÉ DU VÊTEMENT
CENTRE QUÉBÉCOIS POUR L'INFORMATISATION DE LA PRODUCTION (CQIP)
CHARCUTERIE ROY INC.
• COLLÈGE LIONEL-GROULX (S.E.A.)
COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL DU QUÉBEC
CONSEIL DE L'INDUSTRIE LAITIÈRE DU QUÉBEC INC.
CONSOLIDATED-BATHURST INC.
DOLMACO ÉLECTRONIQUE CANADA INC.
ÉCLAIRAGE DEVINE Division de Kidde Canada Limitée
ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE UNIVERSITÉ DU QUÉBEC
• FONDATEC INC.
GAZ MÉTROPOLITAIN
GROUPE-CONSEIL ROCHE LTÉE
• GROUPE D'INGÉNIERIE ET D'EXPERTISE G.I.E. INC.
GROUPE-CONSEIL S.M. INC.
HARRICANA MÉTAL INC.
• HOPLAB INC.
HOUBIGANT LTÉE
HYDRO-QUÉBEC
JM ASBESTOS INC.
JOHNSON & JOHNSON INC.
LABORATOIRE DE BÉTON LTÉE
LAVALIN INC.
LES LABORATOIRES VILLE-MARIE INC.
LES SYSTÈMES ÉLECTRONIQUES MATROX
• LES TRANSFORMATEURS FERRANTI-PACKARD LTÉE
L'ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC
L'ORDRE DES TECHNOLOGUES DES SCIENCES APPLIQUÉES DU QUÉBEC
LES VINS LA SALLE INC.
• MARINE INDUSTRIE LIMITÉE
MIL INDUSTRIEL (DIVISION DE MARINE INDUSTRIE LIMITÉE)
• MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, PÊCHERIES ET ALIMENTATION DU QUÉBEC
DIRECTION DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
• MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE ET DU COMMERCE DU QUÉBEC
MONSANTO CANADA
MOTEURS LEROY-SOMER CANADA LIMITÉE
MOULAGE SOUS PRESSION DE LYSTER LTÉE
• PLASTIQUES GAGNON INC.
PRÉVOST CAR INC.
• PROCEDAIR INDUSTRIE INC.
PRODUITS ALCAN (CANADA) LIMITÉE, USINE SAGUENAY
PRODUITS CELLULAIRES WATERVILLE
PROTEXTILE
• QRL ANALYSIS CORPORATION
• QUALICONSULT INC.
QUALPROTECH INC.
ROUSSEAU MÉTAL INC.
SECTION QUÉBÉCOISE (À MONTRÉAL) DE L'A.S.Q.C.
SERVICE DES ACHATS DU GOUVERNEMENT DU QUÉBEC
SICO INC.
SIDBEC-DOSCO INC.
SOCIÉTÉ DES ALCOOLS DU QUÉBEC
SEGEQUA INC.
• STONE MARINE CANADIENNE LIMITÉE
SYSTÈMES D'INFORMATIQUE PHILIPS LTÉE
TECRAD INC.
VACHON (DIVISION CULINAR)
WESTINGHOUSE CANADA INC.

• Nouveaux membres

Bienvenue

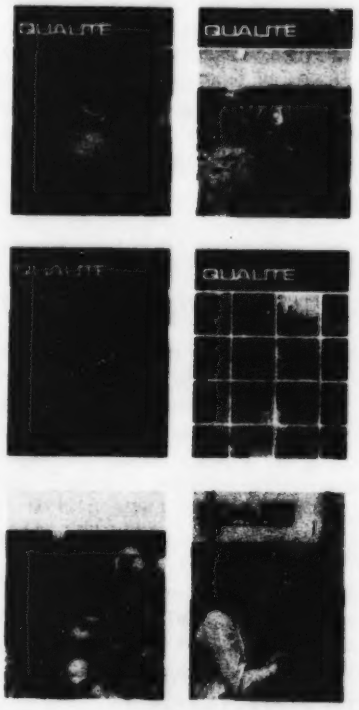
L'Association Québécoise de la Qualité souhaite la plus cordiale bienvenue à ses nouveaux membres. Depuis le mois de mars dernier, une centaine de personnes se sont inscrites sur la liste des membres individuels et quatorze nouveaux membres se sont joints au groupe des membres institutionnels.

Comités de l'association

En septembre reprendront les activités des différents comités de l'association. Ces groupes de travail font appel à tous, membres et non-membres, qui veulent approfondir leurs connaissances, partager leurs expériences et développer plus à fond cette approche de la qualité.

Pour participer ou avoir plus d'informations sur les activités des comités qui vous intéressent, contacter:
comité cercles de qualité, Gaston Meloche: 340-6334
comité formation en qualité, Gilles Legault: 285-2316
comité qualité de vie au travail, Jacqueline Caboret: 873-3070
comité assurance de la qualité dans les services, Secrétariat: 353-7191

ABONNEZ-VOUS



Congrès 1985

La rentabilité par la qualité

C'est avec beaucoup d'enthousiasme que l'Association québécoise de la qualité ainsi que la section québécoise (à Montréal) de l'American Society for Quality Control accueillaient le 4 juin dernier près de 300 personnes au congrès annuel de la qualité.

Les deux associations sont confiantes que le nombre important de participants au congrès 1985 saura générer un dynamisme renouvelé dans la préparation et l'exécution de divers programmes en matière de qualité au Québec. Tel que démontré lors du congrès, c'est une orientation plus propice à l'aide à la PME et au développement de l'industrie québécoise en matière de qualité que l'AQQ dirige son développement.

Toute l'industrie québécoise est donc invitée à participer plus activement à l'essor de l'association québécoise de la qualité pour donner suite à l'événement du 4 juin.

Les actions concrètes qui seront prises seront le seul gage de réussite et par elles seules, la rentabilité par la qualité sera atteinte. De fait, le thème de la journée est permanent et doit rester présent dans toutes nos activités et influer sur la gestion de toute entreprise.

Encore une fois merci aux participants, aux conférenciers et aux organisateurs pour avoir fait de la journée du 4 juin une réussite!

GÉRANT ASSURANCE QUALITÉ

L'entreprise la plus reconnue et dynamique de son genre en Amérique du Nord dans son domaine de fabrication et de mise en marché d'appareils électro-ménagers de très haute qualité connaît une croissance et une expansion sans précédent au Canada. Cet essor exige plusieurs ré-organisations à l'usine de Montréal pour cette fabrication intégrée verticalement incluant l'implantation de systèmes de fabrication assistés par ordinateur. Comme conséquence, une nouvelle orientation du département d'assurance qualité devient un facteur critique.

Le poste de Gérant — Assurance Qualité nécessite maintenant un gestionnaire non seulement capable de diriger une très bonne équipe d'une vingtaine de personnes déjà en place, mais aussi de ré-orienter les activités afin de développer et implanter les méthodes nécessaires à cette expansion.

Cette opportunité intéressera sûrement des Ingénieurs et/ou M.B.A. capables et motivés à assurer la direction d'une équipe multidisciplinaire d'experts en Assurance Qualité dans un environnement de procédés contrôlés statistiquement et qui sont également attirés par le concept et la mise en application des cercles de qualité.

Si vous êtes intéressé à discuter de cette opportunité, veuillez contacter:

Marc Tremblay
CONSEILLER EN RECRUTEMENT
(514) 465-6620

Doré Liaison inc.
CONSULTANTS TO MANAGEMENT
SINCE 1969

"ÉDIFICE CONCORDE"
277 boulevard Churchill, suite 301
Greenfield Park (Montréal)
Québec, Canada, J4V 2M8
Tél.: (514) 465-6620

300 personnes au congrès annuel de la Qualité.

Le nombre important de participants au congrès 85, aura générer un dynamisme renouvelé.

QUALITÉ est la seule revue de Gestion et de Contrôle de la Qualité au Canada.

QUALITÉ s'adresse au personnel de recherche, de production, des approvisionnements et spécialement à celui du Service de la Qualité, ainsi qu'à ceux qui enseignent la gestion et le contrôle de la qualité à tous les niveaux...

Contenu de la revue, articles et rubriques d'intérêt :
ARTICLES originaux (parfois traduits, adaptés ou empruntés à des publications internationales), portant sur plusieurs aspects de la *qualité*.
Aspects techniques : Inspection, test essais, plans d'échantillonnage, cartes de contrôle, métrologie, instrumentation et étalonnage, standardisation, etc.
Aspects de gestion : Coûts de la qualité, motivation, systèmes de gestion et d'information, normalisation, qualité en approvisionnement et relations client-fournisseur, organisation de la qualité.
Aspect terminologie : Usage des termes techniques dans tous les domaines de la qualité, nuances entre termes français et « équivalents » anglais.
Aspects légaux : Responsabilité civile, systèmes de rappel de produits, protection du consommateur, environnement.

RUBRIQUES :
Éditorial... ce que pense la revue
Courrier... ce que pensent les lecteurs
Questions et réponses... la revue au service de ses lecteurs
Normalisation... tout ce qui touche aux normes techniques et de la gestion de la qualité
Qualité en français... la terminologie de la qualité
Échos et nouvelles... ce qui se passe dans le domaine
Droit de la qualité... les aspects légaux de la qualité
En bibliothèque... publications diverses d'intérêt

QUALITÉ, une équipe

L'équipe de QUALITÉ se compose d'experts, praticiens et théoriciens de la Qualité de chez Johnson & Johnson, Hydro-Québec, Disimex, du Ministère des Travaux Publics et de l'Approvisionnement, de l'Université de Montréal (Écoles des Hautes Études Commerciales et Polytechnique), des Universités du Québec, de Laval.
Collaborent avec cette équipe, la Section Québécoise de l'American Society for Quality Control, l'Office de la langue française, le bureau de normalisation du Québec, l'Association des microbiologistes du Québec...

Coupon réponse

Je désire m'abonner à QUALITÉ
au Canada ☐ 1 an (4 numéros) $16. ☐ 2 ans $30.
à l'étranger ☐ 1 an (4 numéros) $28. ☐ 2 ans $50.
Bibliothèque ☐ 1 an (4 numéros) $60. ☐ 2 ans $110.

Nom de la compagnie _____
Adresse _____
Ville _____ Province _____
Pays _____ Code Postal _____
Nom _____

S.V.P. faites votre chèque ou mandat poste à l'ordre de QUALITÉ, 1424 Hymus — suite 2, Dorval, Qc H9P 1J6